



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

NÁVRH VYTÁPĚNÍ REKREAČNÍHO DOMKU

DESIGN OF A WEEKEND HOUSE HEATING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Rajdlík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Michal Jaroš, Dr.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav:	Energetický ústav
Student:	Bc. Lukáš Rajdlík
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Technika prostředí
Vedoucí práce:	doc. Ing. Michal Jaroš, Dr.
Akademický rok:	2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh vytápění rekreačního domku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vytápění rekreačních obydlí (chalup, chat apod.) je specifické tím, že se nejedná o nepřetržitý celosezónní provoz. To má vliv na ekonomické hodnocení jednotlivých variant – výhodnější může být vytápěcí systém s dražším provozem, avšak menší investiční náročností. Dalšími aspekty volby jsou požadavky na komfort, bezpečnost provozu a jednoduchost obsluhy, popř. možnost dálkového ovládání.

Cíle diplomové práce:

Navrhnete různé varianty vytápění a ohřevu teplé vody pro rekreační obydlí (zděnou chatu pro víkendové celoroční užívání). Určete potřebu tepla pro různé režimy provozu (temperování na nezámrznou teplotu, občasné rekreační bydlení). Proveďte ekonomický rozbor jednotlivých variant (investiční a provozní náklady) s ohledem na specifika provozu a posuďte jejich další výhody a nevýhody. Pro zvolenou variantu zpracujte rámcový návrh vytápěcího systému.

Seznam doporučené literatury:

BROŽ, K. Vytápění. Dotisk 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998. ISBN 80-01-01313-8.

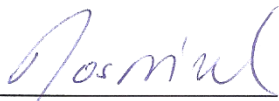
JÍCHA, M. Přenos tepla a látky. Brno: Akad. nakladatelství CERM, 2001. ISBN 80-214-2029-4.

INCROPERA, F. P., DE WITT, D. P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 3rd Ed. New York: Wiley, 1990. ISBN 0-471-51729-1.

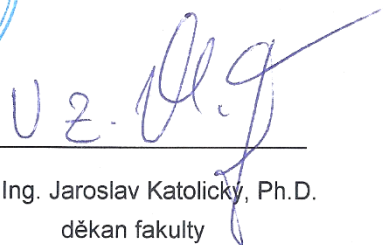
Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19.

V Brně, dne 24. 10. 2018





doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá návrhem různých variant vytápění a ohřevu teplé vody pro rekreační objekt (zděnou chatu pro celoroční užívání). Po výpočtu návrhového tepelného výkonu budovy a potřeby tepla na vytápění a ohřev teplé vody při různých typech provozu jsou vybrány vhodné zdroje tepla. Pro vybrané zdroje tepla je vypracován rámcový návrh vytápění. Na závěr je pro jednotlivé varianty vypracován ekonomický rozbor vzhledem k investičním a provozním nákladům. Z výsledného rozboru je vybrán nejvhodnější zdroj tepla na vytápění.

Klíčová slova

Rekreační objekt, vytápění, ohřev teplé vody, tepelná ztráta, návrhový tepelný výkon, potřeba tepla, investiční náklady, provozní náklady

Abstract

This master's thesis deals with design of different variants of heating and warming of hot service water for holiday building (year-round weekend house, made of bricks). After calculations of the design heat load and heat requirement for heating and warming of hot service water for different types of operations the suitable heat sources are chosen. For heat sources the general design of heating is made. In the end the thesis includes economical analysis for each variant in view of investment and operating costs. The most suitable heat source is chosen from the results of analysis.

Key Words

Weekend house, heating, warming of hot service water, heating loss, design heat load, heat requirement, investment costs, operating costs

Bibliografická citace

RAJDLÍK, Lukáš. *Návrh vytápění rekreačního domku*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116853>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce doc. Ing. Michal Jaroš Dr.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „*Návrh vytápění rekreačního domku*“ vypracoval samostatně pod vedením vedoucího práce a veškeré prameny, ze kterých jsem čerpal, jsem uvedl do seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne 24.5.2019

.....

Rajdlík Lukáš

Poděkování

Rád bych poděkoval doc. Ing. Michalu Jarošovi, Dr. za odborné vedení a poskytnutí cenných rad při zpracovávání této diplomové práce. Také bych rád poděkoval svojí rodině a přítelkyni, kteří mě po celou dobu vypracovávání diplomové práce podporovali.

Obsah

1. Úvod	11
2. Architektonické a dispoziční řešení rekreačního domku	12
3. Konstrukční řešení rekreačního domku	13
4. Výpočet tepelného výkonu	16
4.1 Všeobecné údaje	16
4.2 Výpočet součinitelů prostupu tepla	17
4.3 Výpočet tepelné ztráty	19
4.3.1 Výpočet návrhové tepelné ztráty prostupem tepla	19
4.3.2 Výpočet tepelné ztráty větráním	20
4.3.3 Odhad zátěpového tepelného výkonu	21
4.3.4 Výpočet návrhového tepelného výkonu	36
5. Výpočet potřeby tepla při provozu bez temperování	37
5.1 Výpočet doby vytápění a doby pobytu	37
5.2 Potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát	38
5.3 Potřeba tepla na ohřátí stěn.....	40
5.3.1 Potřeba tepla na ohřátí stěn při víkendovém provozu	40
5.3.2 Potřeba tepla na ohřátí stěn při provozu každý druhý víkend nebo jednou za měsíc	45
5.4 Celková potřeba tepla na vytápění.....	50
5.5 Potřeba tepla k ohřevu teplé vody	50
5.6 Roční potřeba tepla při provozu bez temperování	54
6. Výpočet potřeby tepla při provozu s temperováním	56
6.1 Potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát prostupem a větráním	56
6.2 Potřeba tepla na pokrytí ztrát prostupem při temperování	56
6.3 Potřeba tepla k ohřevu stěn.....	63
6.3.1 Potřeba tepla k ohřevu stěn při víkendovém provozu	63
6.3.2 Potřeba tepla k ohřevu stěn pro provoz každý druhý týden a jeden víkend v měsíci	63
6.4 Potřeba tepla na vytápění.....	66
6.5 Potřeba tepla k ohřevu teplé vody	66
6.6 Roční potřeba tepla v provozu s temperováním	67
7. Zdroje tepla	68
7.1 Elektrokotel	68
7.2 Tepelné čerpadlo.....	69
7.3 Plynový kotel.....	69

7.4	Kotle na tuhá paliva	70
7.5	Elektrický přímotop	71
7.6	Výběr zdroje tepla pro provoz bez temperování	72
7.7	Výběr zdroje tepla pro provoz s temperováním	72
8.	Ekonomický rozbor	73
8.1	Investiční náklady	73
8.1.1	Investiční náklady teplovodních otopných soustav	73
8.1.2	Investiční náklady topení elektrickými přímotopy	81
8.2	Náklady na vytápění a ohřev TV	82
8.2.1	Náklady na vytápění a ohřev TV elektrokotlem	82
8.2.2	Náklady na vytápění a ohřev TV plynovým kotlem	83
8.2.3	Náklady na vytápění a ohřev TV elektrokotlem v kombinaci s tepelným čerpadlem	84
8.2.4	Výpočet ročních nákladů na vytápění elektrickými přímotopy	86
8.3	Ekonomický rozbor vytápění při provozu bez temperování	87
8.3.1	Ekonomický rozbor vytápění při víkendovém provozu	87
8.3.2	Ekonomický rozbor vytápění při provozu každý druhý víkend	88
8.3.3	Ekonomický rozbor vytápění při provozu jednou za měsíc	89
8.4	Ekonomický rozbor vytápění při provozu s temperováním	89
8.4.1	Ekonomický rozbor vytápění při víkendovém provozu	90
8.4.2	Ekonomický rozbor vytápění při provozu každý druhý víkend	90
8.4.3	Ekonomický rozbor vytápění při provozu jednou za měsíc	91
9.	Závěr	93
10.	Seznam použitých zdrojů	94
11.	Seznam použitých symbolů a zkratek	99
12.	Seznam obrázků a tabulek	104
13.	Seznam příloh	107

1. Úvod

V současné době člověk tráví v uzavřených místnostech většinu svého času. Ať už se jedná o soukromé bydlení, o čas strávený v zaměstnání, sportovní aktivity, chalupaření.

Z tohoto důvodu je důležité, aby místnosti, ve kterých trávíme čas, byly pro nás klimaticky příjemné. Tuto klimatickou pohodu dosáhneme v zimních měsících vytápěním obývaného prostoru.

Chatu, chalupu či jiný rekreační objekt vlastní v dnešní době stále více lidí. Podmínkou jeho využití je zajištění tepelného komfortu během pobytu a to při co nejnižších nákladech na vytápění.

Tato diplomová práce se zabývá návrhem vytápěním rekreačního domku, který není v zimních měsících soustavně obýván. Vytápění rekreačního objektu má oproti trvale vytápěné budově jistá specifika – akumulaci tepla ve zdech při zátopu, velké přestávky mezi jednotlivými cykly vytápění a s tím související významné prochladnutí celého objektu.

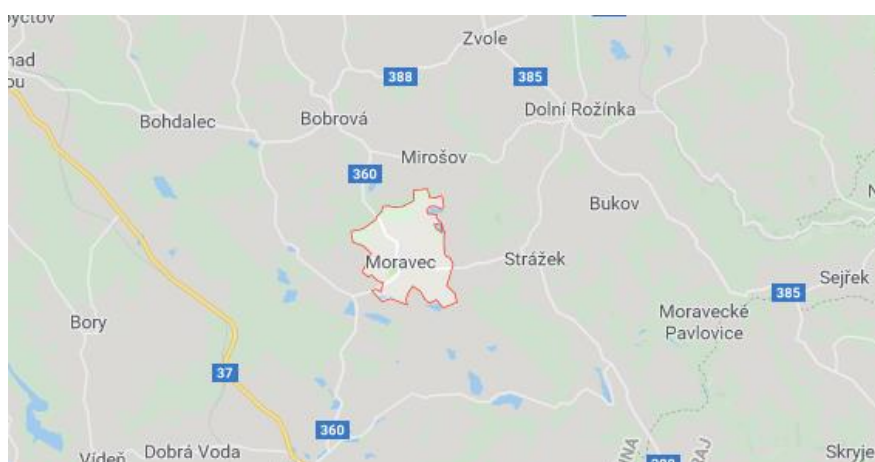
Cílem této diplomové práce je návrh vytápění konkrétního rekreačního domku. Ve výpočtech jsou uvažovány různé režimy provozu-obývání každý víkend, každý druhý víkend a jeden víkend v měsíci. Pro každou z těchto možností jsou vypracovány dvě varianty – s temperováním mezi dvěma cykly vytápění a bez temperování.

Při zpracování samotného návrhu na vytápění je kladen důraz na výběr zdroje tepla. Při tom je nutné zohlednit vhodnost využití pro vytápění rekreačního objektu, pořizovací náklady a v neposlední řadě i náklady spojené s jeho využíváním. Zdroj tepla by měl být také vybaven zařízením, které umožňuje zahájit vytápění na dálku ještě před příjezdem osob a zajistit tak tepelný komfort ve vytápěných místnostech už při jejich příjezdu.

2. Architektonické a dispoziční řešení rekreačního domku

Jedná se o částečně podsklepenou, jednopodlažní rekreační chatu s nevyužívaným podkrovím, určenou k celoročnímu užívání. Nachází se v obci Moravec v okrese Žďár nad Sázavou. Zastavěná plocha činí 68,6 m², obytná plocha 32,3 m². Obestavěný prostor je 476,5 m³ a vytápěný prostor 107,8 m³. Chata je podsklepená pod všemi obytnými místnostmi, podsklepení není pouze pod verandou a hygienickým zázemím. V suterénu se nachází garáž a dvě sklepní místnosti, z nichž se dá po schodech dostat do přízemí. Suterén je částečně zapuštěn do terénu.

Přízemí (obr. 4) slouží jako vstupní a hlavní obytná část objektu. Za vstupními dveřmi se nachází zádveří, ze kterého je přímo přístupná koupelna společná s WC. Do zádveří ústí také schodiště ze suterénu. Ze zádveří se lze dále dostat do chodby, na kterou navazuje kuchyň, obývací pokoj a lze zde také vstoupit na schodiště vedoucí do podkroví. Z obývacího pokoje je umožněn přístup do dalšího pokoje a do ložnice. Nad verandou, zádveřím a koupelnou s WC je venkovní terasa, nad obytnými místnostmi se nachází nevyužívané podkroví, zakryté sedlovou střechou s prudkým spádem.



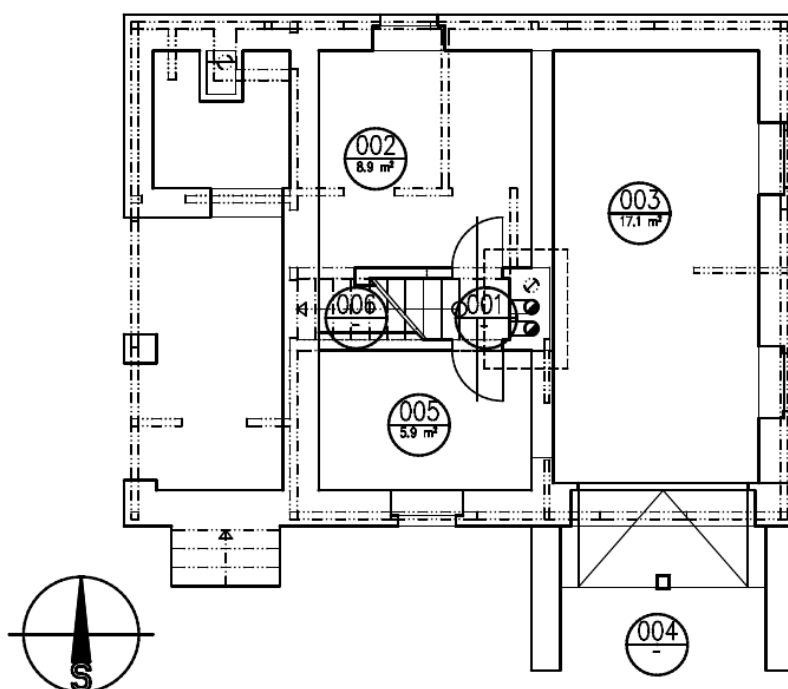
Obr. 1 Mapa oblasti



Obr. 2 Vnější pohled

3. Konstrukční řešení rekreačního domku

Suterén – základové konstrukce jsou řešeny základovými pasy š. 400 mm a 500 mm, které jsou provedeny z prostého betonu proloženého lomovým kamenem. Obvodové zdivo suterénu je vyzděno v tl. 500 mm z lomového kamene na maltu vápenocementovou s hydraulickým vápnem. Stěny sklepa jsou z vnitřní strany pokryty 25 mm vápenocementové omítky. Vnitřní zdivo komínové a schodišťové je provedeno z plných cihel na vápenocementovou maltu v tloušťce 300 mm a 150 mm. Strop nad suterénem se skládá ze železobetonu o tloušťce 100 mm, na němž následuje hydroizolace v podobě asfaltového pásu o tloušťce 5 mm. Pás je pokryt 50 mm škváry, na kterou přiléhá další asfaltový pás o tloušťce 3 mm. Ten pokrývá vrstva betonové mazaniny o tloušťce 40 mm. Vrchní vrstva je tvořena PVC nebo dlažbou. Garážová vrata jsou ocelová dvoukřídllová, osazená do ocelové úhelníkové zárubně. Okna v suterénu jsou dřevěná otevíravá, zasklená izolačními dvojskly. Konstrukce schodiště do přízemí je tvořena prostým betonem s konečnou povrchovou úpravou cementovým potěrem. Podlahy v obou sklepech jsou z betonové mazaniny, v garáži z cementového potěru. Vjezd je vytvořen z lomového kamene.

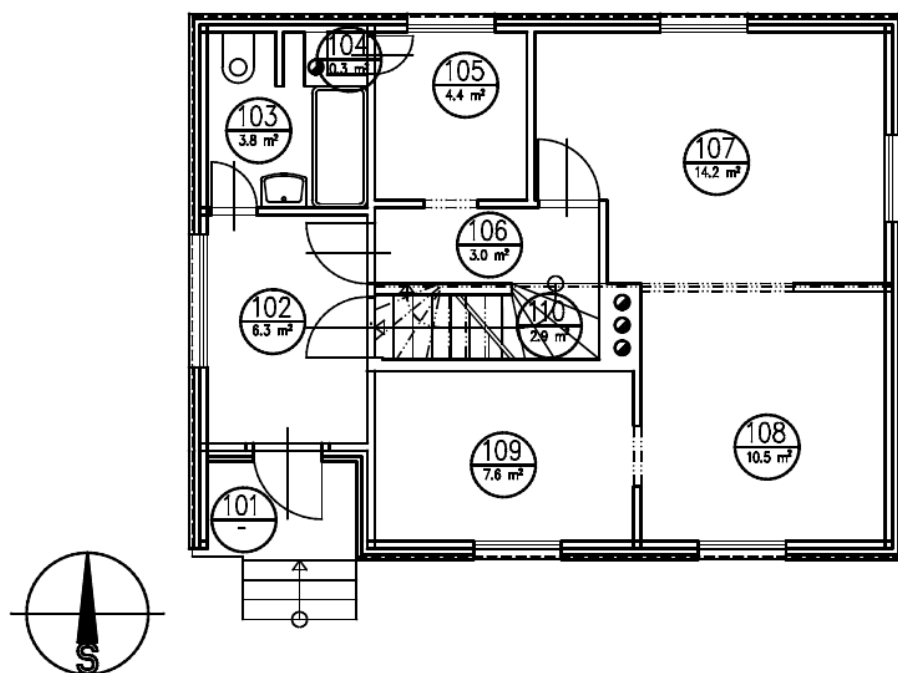


Obr. 3 Půdorys suterénu

Tab. 1 Přehled místností v suterénu

Číslo místnosti	Místnost	Plocha [m²]	Druh podlahy
001	Schodiště I	-	Beton
002	Sklep I	8,9	Betonová mazanina
003	Garáž	17,1	Cementový potěr
004	Vjezd	-	Lomový kámen
005	Sklep II	5,9	Betonová mazanina
006	Prostor pod schodištěm	-	Betonová mazanina

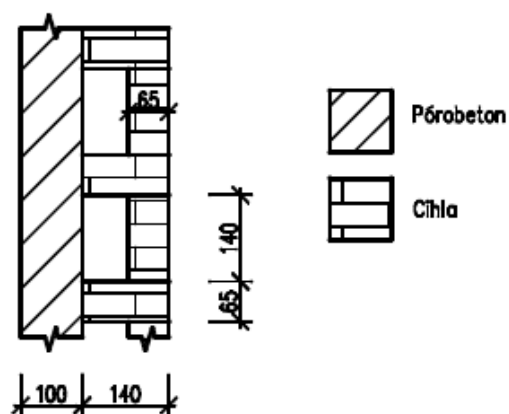
Přízemí – podlahy v přízemí jsou pokryty PVC nebo keramickou dlažbou. Nosná konstrukce je navržena z ocelových L profilů 100 mm × 100 mm × 6 mm vzájemně svařených tak, že tvoří uzavřený profil zakotvený do skleповého zdiva, v rozích opatřený vzpěrou. Schodiště je z plných cihel na vápenocementovou maltu. Vnitřní stěny jsou z pórobetonových desek o tloušťce 100 mm nebo z plných cihel o rozměrech 290 mm × 140 mm × 65 mm a jsou všechny pokryty 25 mm vápenocementové omítky. Vnější stěny jsou z pórobetonových desek o tloušťce 100 mm, zaizolované skladbou z pálených cihel, pokrytou 30 mm vrstvou brizolitu. Schody do patra jsou dřevěné. Strop nad verandou, zádveřím a koupelnou tvoří 100 mm železobetonu, 100 mm minerální vlny, 5 mm hydroizolace v podobě asfaltového pásu a 70 mm betonové mazaniny spolu s nátěrem. Strop nad obytnou částí objektu je ze stropnic kladených ve spádu spolu se 160 mm izolace z minerální vlny. Strop je podbitý prkny o tloušťce 25 mm a překrytý záklopem o stejné tloušťce. Téměř všechna okna jsou dřevěná dvojskla o rozměrech 1150 mm × 1150 mm. V zádveří je jedno okno o rozměrech 1750 mm × 1450 mm.



Obr. 4 Půdorys přízemí

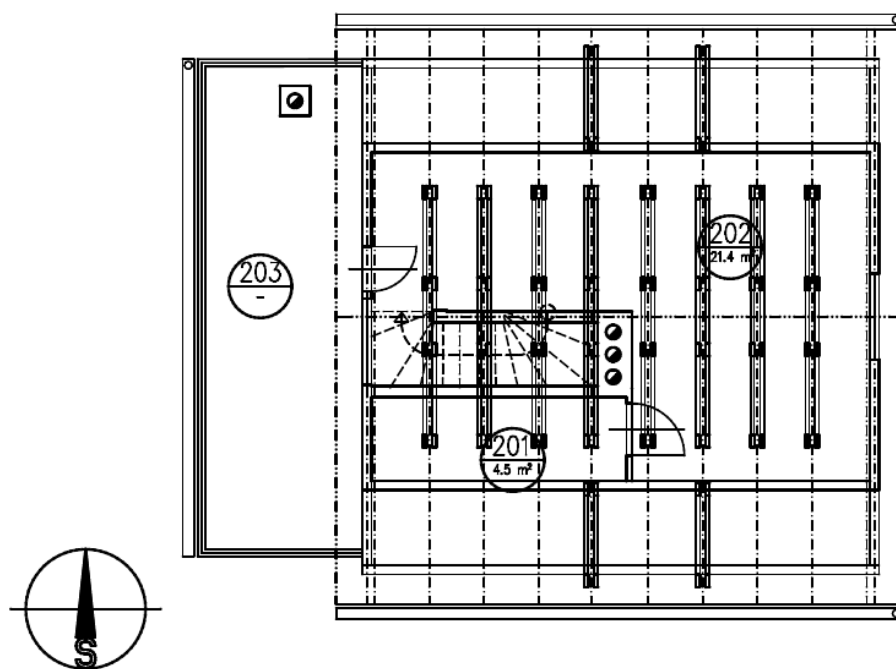
Tab. 2 Přehled místností v přízemí

Číslo místnosti	Místnost	Plocha [m ²]	Druh podlahy
101	Veranda	2,5	Cementový potěr
102	Zádveří	6,3	PVC
103	Koupelna + WC	3,8	Dlažba
104	Spíž	0,3	Cementový potěr
105	Kuchyně	4,4	PVC
106	Chodba	3,0	Dlažba
107	Obývací pokoj	14,2	PVC
108	Pokoj	10,5	PVC
109	Ložnice	7,6	PVC
110	Schodiště II	2,9	Dřevo



Obr. 5 Skladba vnějších stěn z pálených cihel

Podkroví – střecha je zaizolovaná minerální vlnou. Celá plocha střešního pláště je zašalována a na ní je umístěna krytina z pozinkovaného plechu. Nad verandou, zádveřím a koupelnou se nachází terasa, na kterou ústí z podkroví dveře. Schody do podkroví jsou vyrobeny ze dřeva.



Obr. 6 Půdorys podkroví

Tab. 3 Přehled místností podkroví

Číslo místnosti	Místnost	Plocha [m²]	Druh podlahy
201	Půda I	4,5	Dřevo
202	Půda II	21,4	Dřevo
203	Terasa	13,0	Beton

4. Výpočet tepelného výkonu

Výpočet tepelných ztrát je zpracován dle normy ČSN EN 12831 Tepelné soustavy v budovách – výpočet tepelného výkonu [1], [2].

Níže uvedené výpočty jsou pouze vzorové, zbývající výpočty jsou uloženy na příloženém CD.

4.1 Všeobecné údaje

Lokalita: Moravec (Žďár nad Sázavou)

Tab. 4 Všeobecné údaje [1]

Klimatické údaje				
Popis		Označení	Jednotka	Hodnota
Výpočtová venkovní teplota		θ_e	°C	-15
Počet dnů otopného období (12 °C)		d	-	252
Průměrná teplota v otopném období		$\theta_{m,e}$	°C	2,4
Údaje o vytápěných místnostech				
Kód	Označení místnosti	Výpočtová vnitřní teplota	Plocha místnosti	Objem místnosti
		$\theta_{int,i}$	A_i	V_i
		°C	m ²	m ³
103	Koupelna + WC	22	3,8	9,0
105	Kuchyně	15	4,4	10,6
106	Chodba	15	3,0	7,1
107	Obývací pokoj	20	14,2	34,0
108	Pokoj	20	10,5	25,3
109	Ložnice	20	7,6	18,3
110	Schodiště II	15	2,9	3,5
	Celkem		46,4	107,8
Údaje o nevytápěných místnostech				
Kód	Označení místnosti	Teplota	Plocha místnosti	Objem místnosti
		T_{ie}	A_i	V_i
		°C	m ²	m ³
001	Schodiště I	0	2,5	4,6
002	Sklep I	0	8,9	19,5
003	Garáž	-15	17,1	37,6
005	Sklep II	0	5,9	13,0
006	Prostor pod schodištěm	0	-	-
102	Zádveří	0	6,3	15,1
104	Spíž	6	0,3	0,7
201	Půda I	0	4,5	10,8
202	Půda II	0	21,4	51,5

4.2 Výpočet součinitelů prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla vyjadřuje tepelné izolační vlastnosti konstrukce. Čím nižších hodnot nabývá, tím méně tepla unikne.

Výpočet součinitele prostupu tepla konstrukce

$$U_k = \frac{1}{R_{si} + \sum R_j + R_{se}} \quad (4.1)$$

kde U_k $[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$ součinitel prostupu tepla k -té konstrukce
 R_{si} $[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$ tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce
 R_{se} $[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$ tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce
 R_j $[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$ tepelný odpor j -té vrstvy stavebního materiálu

Výpočet součinitele prostupu tepla vrstvy materiálu

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j} \quad (4.2)$$

kde R_j $[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$ tepelný odpor j -té vrstvy stavebního materiálu
 d_j $[m]$ tloušťka j -té vrstvy materiálu
 λ_j $[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$ součinitel tepelné vodivosti j -té vrstvy materiálu

V konstrukcích stěn, které v sobě obsahují vzduchovou mezeru nebo komínový průduch, byl vliv této části zanedbán, protože vzduch má velký součinitel tepelné vodivosti λ , tím pádem bude tepelný odpor této vrstvy malý a nebude mít téměř žádný vliv na výsledný součinitel prostupu tepla.

Tab. 5 Tepelný odpor při přestupu tepla mezi vzduchem a stavební částí [1]

Kód	Položka	Tepelný odpor R_{si} nebo R_{se}
		$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
30	Odpor při přestupu na vnitřní straně (vodorovný tepelný tok)	0,13
31	Odpor při přestupu na vnější straně (vodorovný tepelný tok)	0,04
32	Odpor při přestupu na vnitřní straně (tepelný tok směrem nahoru)	0,10
33	Odpor při přestupu na vnitřní straně (tepelný tok směrem dolů)	3

Tab. 6 Údaje o materiálech [3], [4], [5], [6]

Kód	Materiál	Součinitel tepelné vodivosti λ	Hustota ρ
		W/(m·K)	kg/m ³
1	Pórobeton	0,21	580
2	Betonová mazanina	1,3	2200
3	Žula	3,1	2500
4	Železobeton	1,58	2400
5	Pálená cihla	0,84	1900
6	Omítka vápenocementová	0,99	2000
7	Cementový potěr	1,16	2000
8	Malta vápenocementová	0,97	1850
9	Dřevo měkké	0,18	400
10	Dřevo tvrdé	0,22	600
11	Brizolit	1,1	1500
12	Minerální vlna	0,04	25
13	PVC	0,2	1400
14	Škvára	0,27	750
15	Asfaltový pás	0,21	1400
16	Tmel	0,22	1500
17	Dlažba-keramika	1	2200
18	Polystyren	0,038	30

Tab. 7 Hodnoty součinitelů prostupu tepla oken a dveří [7], [8]

Kód	Položka	Součinitel prostupu tepla U_k
		W/(m ² ·K)
20	Okno-dřevěné dvojsklo	0,95
21	Venkovní dveře se sklem	0,9
22	Vnitřní dřevěné dveře plné	2
23	Vnitřní dřevěné dveře zasklené jedním sklem 2/3	3

Tab. 8 Příklad výpočtu součinitele prostupu tepla

Kódy		Popis	d _j	λ	R _j	U _k
Stavební část	Materiál		m	W/(m·K)	m ² ·K/W	W/m ² ·K
Kód stavební části	Označení stavební části					
	Kód	Odpor při přestupu na vnitřní straně			R _{si}	-
	Kód	Název materiálu	d ₁	λ ₁	R ₁ =d ₁ /λ ₁	-
	-
	Kód	Název materiálu	d _n	λ _n	R _n =d _n /λ _n	-
	Kód	Odpor při přestupu na vnější straně			R _{se}	-
	Celková tloušťka a U _k		Σd _i	-	ΣR _i	1/ΣR _i

1	Podlaha, PVC					
	33	Odpor při přestupu tepla (tepelný tok dolů)			0,17	-
	4	Železobeton	0,1	1,58	0,06	-
	15	Asfaltový pás	0,005	0,21	0,02	-
	14	Škvára	0,05	0,27	0,19	-
	15	Asfaltový pás	0,003	0,21	0,01	-
	2	Betonová mazanina	0,04	1,3	0,03	-
	13	PVC	0,005	0,2	0,03	-
	33	Odpor při přestupu tepla (tepelný tok dolů)			0,17	-
	Celková tloušťka a U_k		0,203	-	0,68	1,47

4.3 Výpočet tepelné ztráty

Výpočet tepelného výkonu byl proveden na základě normy ČSN EN 12831 [1] a EN 12831 [2]. Slouží k návrhu výkonu zdroje tepla a otopných těles v jednotlivých místnostech.

Výpočet celkové návrhové tepelné ztráty vytápěného prostoru (Φ_i) zjednodušenou metodou

$$\Phi_i = (\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}) \cdot f_{\Delta\theta,i} \quad (4.3)$$

kde	Φ_i	[W]	návrhová tepelná ztráta i -té vytápěné místnosti
	$\Phi_{T,i}$	[W]	návrhová tepelná ztráta prostupem i -té vytápěné místnosti
	$\Phi_{V,i}$	[W]	návrhová tepelná ztráta větráním i -té vytápěné místnosti
	$f_{\Delta\theta,i}$	[-]	teplotní korekční součinitel zohledňující dodatečné tepelné ztráty místností při vytápění na vyšší teplotu, než mají sousední místnosti

Hodnoty teplotního korekčního činitele $f_{\Delta\theta,i}$ jsou uvedeny v národní příloze k normě [1].

4.3.1 Výpočet návrhové tepelné ztráty prostupem tepla

$$\Phi_{T,i} = \sum_k f_k \cdot A_k \cdot U_k \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (4.4)$$

kde	$\Phi_{T,i}$	[W]	návrhová tepelná ztráta prostupem tepla i -té vytápěné místnosti
	f_k	[-]	teplotní korekční součinitel k -té stavební části
	A_k	[m ²]	plocha k -té stavební části
	U_k	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel prostupu tepla k -té stavební části
	$\theta_{int,i}$	[°C]	výpočtová vnitřní teplota i -té vytápěné místnosti
	θ_e	[°C]	výpočtová venkovní teplota

Hodnoty korekčního součinitele f_k jsou uvedeny v národní příloze k normě [1]. Závisí na prostředí, do kterého prostupuje teplo z vytápěného prostoru, a na izolaci tepelných mostů.

4.3.2 Výpočet tepelné ztráty větráním

Výpočet návrhové tepelné ztráty větráním vytápěného prostoru

$$\Phi_{V,i} = 0,34 \cdot \dot{V}_{\min,i} \cdot (\theta_{\text{int},i} - \theta_e) \quad (4.5)$$

kde	$\Phi_{V,i}$	[W]	návrhová tepelná ztráta větráním
	$\dot{V}_{\min,i}$	[m ³ ·h ⁻¹]	nejmenší množství vzduchu požadované z hygienických důvodů pro vytápěnou místnost
	$\theta_{\text{int},i}$	[°C]	výpočtová vnitřní teplota vytápěné místnosti
	θ_e	[°C]	výpočtová venkovní teplota

Výpočet nejmenšího požadovaného množství vzduchu z hygienických důvodů

$$\dot{V}_{\min,i} = n_{\min} \cdot V_i \quad (4.6)$$

kde	$\dot{V}_{\min,i}$	[m ³ ·h ⁻¹]	nejmenší množství vzduchu požadované z hygienických důvodů pro vytápěnou místnost
	n_{\min}	[h ⁻¹]	minimální intenzita výměny venkovního vzduchu
	V_i	[m ³]	objem vytápěné místnosti

Minimální intenzity výměny venkovního vzduchu n_{\min} jsou uvedeny v národní příloze normy [1]. Samotné číselné hodnoty pak závisí na druhu místnosti, například pro kuchyně a koupelny jsou hodnoty vyšší než pro obytné místnosti.

Tab. 9 Výpočet tepelných ztrát prostupem a větráním v místnosti koupelna a WC (č. m. 103)

Teplotní údaje						
Venkovní výpočtová teplota		θ_e	°C	-15		
Vnitřní výpočtová teplota		$\theta_{\text{int},i}$	°C	22		
Výpočtový rozdíl teplot		$\theta_{\text{int},i} - \theta_e$	°C	37		
Tepelné ztráty prostupem						
Kód	Stavební část	f_k	A_k	U_k	$f_k \cdot A_k \cdot U_k$	
		-	m ²	W/(m ² ·K)	W/K	
2.2	Podlaha, dlažba-vnější	1,40	3,75	1,81	9,49	
3.1	Vnější stěna 1	1,40	2,58	1,12	4,06	
3.2	Vnější stěna 2	1,40	5,81	1,25	10,15	
5	Vnitřní stěna pórobeton	1,12	3,87	1,27	5,51	
5	Vnitřní stěna pórobeton	0,42	3,60	1,27	1,92	
6	Vnitřní stěna cihlová	1,12	1,26	2,10	2,96	
7	Vnitřní stěna cihlová širší	1,12	1,34	1,52	2,29	
8	Strop nad verandou a koupelnou	1,00	3,75	0,36	1,35	
22	Vnitřní dveře plné	1,12	1,17	2,00	2,62	
Celková tepelná ztráta prostupem		$\Phi_{T,i} = \sum f_k \cdot A_k \cdot U_k \cdot (\theta_{\text{int},i} - \theta_e)$			W	1492,84

Tepelná ztráta větráním					
Vnitřní objem	V_i	m^3	9		
Nejmenší intenzita výměny vzduchu	n_{min}	-	1,50		
Celková tepelná ztráta větráním	$\Phi_{v,i}=0,34 \cdot V_i \cdot n_{min} \cdot (\theta_{int,i}-\theta_e)$			W	169,83
Celková tepelná ztráta prostupem větráním	$\Phi_{T,i}+\Phi_{v,i}$			W	1662,67
Korekční činitel na vyšší teplotu	$f_{\Delta\theta}$	-	1,00		
Návrhová tepelná ztráta prostupem a větráním	$\Phi_i=(\Phi_{T,i}+\Phi_{v,i}) \cdot f_{\Delta\theta}$			W	1662,67

Tab. 10 Návrhové tepelné ztráty jednotlivých místností

Místnost		Návrhová tepelná ztráta	
		Φ_i	W
103	Koupelna + WC	1663	W
105	Kuchyně	559	W
106	Chodba	415	W
107	Obývací pokoj	2402	W
108	Pokoj	1807	W
109	Ložnice	1761	W
110	Schodiště II	288	W

4.3.3 Odhad zátopového tepelného výkonu

Zátopový tepelný výkon je výkon, který slouží k vyrovnání účinků přerušovaného vytápění. Norma ČSN EN 12831 [1] stanovuje zátopový tepelný výkon pouze při době útlumu¹ nejvýše 12 hodin a poklesu teploty maximálně o 4 K. V případě rekreačního objektu, kde je předpokládán provoz nejčastěji jednou za týden, bude délka útlumu i pokles teploty mnohem vyšší. Z tohoto důvodu nelze normu pro výpočet použít.

Jedná se o výkon, který by měl za určitou dobu ohřát konstrukci stěn. Odhad zátopového výkonu spočívá v určení potřeby tepla na ohřátí stěny, která se podělení časem, za který by měla být stěna ohřáta.

Postup pro výpočet zátopového výkonu (viz níže) platí pro dobu útlumu odpovídající víkendovému provozu. Při provozu každý druhý víkend nebo jeden víkend v měsíci se předpokládá, že stěny zcela prochladnou. Vnější výpočtová teplota rovna -15 °C. Je to stanovená hranice, na kterou má být navržen otopný systém. V místě, ve kterém se rekreační objekt nachází, je pouze velmi malá šance, že bude venkovní teplota po delší dobu -15 °C nebo nižší. Proto by vypočtený zátopový výkon měl být dostačující i pro provoz každý druhý víkend nebo jeden víkend v měsíci.

¹ Útlum vyjadřuje dobu mezi dvěma cykly vytápění

Výpočet zátopového tepelného výkonu vytápěné místnosti

$$\Phi_{RH,i} = \frac{Q_{ak,i}}{\tau_{RH}} \quad (4.7)$$

kde	$\Phi_{RH,i}$	[W]	zátopový tepelný výkon i -té vytápěné místnosti
	$Q_{ak,i}$	[J]	potřeba tepla na ohřátí stěn v i -té vytápěné místnosti
	τ_{RH}	[s]	doba ohřevu stěny

Vytápění lze zahájit ještě před příjezdem do rekreačního objektu, především díky různým zařízením, která lze ovládat na dálku například mobilním telefonem nebo přes internet.

Výpočet potřeby tepla na ohřátí stěn místnosti

$$Q_{ak,i} = \sum Q_{ak,k} \quad (4.8)$$

kde	$Q_{ak,i}$	[J]	potřeba tepla na ohřátí stěn v i -té místnosti
	$Q_{ak,k}$	[J]	potřeba tepla na ohřátí stěny k -té konstrukce

Pokud je stěna umístěna mezi dvěma vytápěnými místnostmi a každá místnost je vytápěna na jinou teplotu, přijme stěna z teplejší místnosti více tepla než z chladnější místnosti. Pro zjednodušení výpočtu je tento rozdíl zanedbáván. Z toho vyplývá, že pokud je stěna umístěna mezi dvěma vytápěnými místnostmi, počítá se ke každé místnosti **polovina** z vypočteného tepla, které je potřebné na ohřátí konstrukce.

Teplu potřebné k ohřátí oken a dveří je, vzhledem k malým rozměrům a hmotnosti, oproti teplu potřebnému k ohřátí zdí zanedbatelné, proto je ve výpočtu zanedbáno.

Výpočet potřeby tepla k ohřátí stěny konstrukce

Jelikož se stěna skládá z více různých vrstev materiálu, je třeba spočítat jednotlivé vrstvy konstrukce zvlášť.

$$Q_{ak,k} = \sum Q_{ak,j} \quad (4.9)$$

kde	$Q_{ak,k}$	[J]	potřeba tepla k ohřátí stěny k -té konstrukce
	$Q_{ak,j}$	[J]	potřeba tepla k ohřátí j -té vrstvy konstrukce stěny

Výpočet potřeby tepla k ohřátí jedné vrstvy konstrukce stěny

$$Q_{ak,j} = m_j \cdot c_j \cdot \Delta T_{ak,j} \quad (4.10)$$

kde	$Q_{ak,j}$	[J]	potřeba tepla k ohřátí j -té vrstvy konstrukce stěny
	m_j	[kg]	hmotnost j -té vrstvy stěny
	c_j	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita j -té vrstvy stěny
	$\Delta T_{ak,j}$	[°C]	teplotní rozdíl j -té vrstvy stěny

Výpočet hmotnosti vrstvy

$$m_j = \rho_j \cdot V_j \quad (4.11)$$

kde	m_j	[kg]	hmotnost j -té vrstvy stěny
	ρ_j	[kg·m ⁻³]	hustota j -té vrstvy stěny
	V_j	[m ⁻³]	objem j -té vrstvy stěny

Výpočet teplotního rozdílu vrstvy

Teplotní rozdíl vrstvy stěny ($\Delta T_{RH,j}$) je rozdíl mezi střední teplotou ohřáté vrstvy stěny vytopené místnosti a střední teplotou vrstvy stěny v době útlumu vytápění.

$$\Delta T_{ak,j} = T_{m,j} - T_{ms,j} \quad (4.12)$$

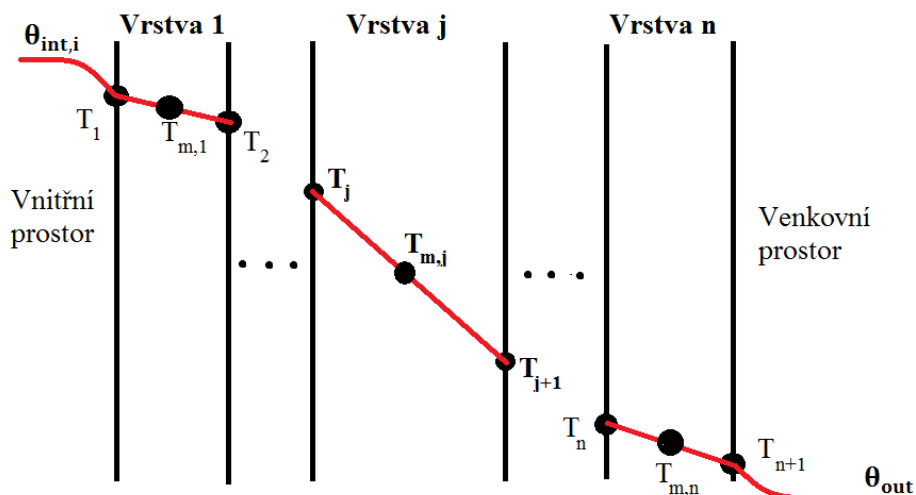
kde	$\Delta T_{ak,j}$	[°C]	teplotní rozdíl j -té vrstvy stěny
	$T_{m,j}$	[°C]	střední teplota ohřáté j -té vrstvy materiálu stěny
	$T_{ms,j}$	[°C]	střední teplota studené j -té vrstvy materiálu stěny

Výpočet střední teploty ohřáté vrstvy

Pro výpočet střední teploty jednotlivých ohřátých vrstev se uvažuje lineární pokles teplot v dané vrstvě.

$$T_{m,j} = \frac{T_j + T_{j+1}}{2} \quad (4.13)$$

kde	$T_{m,j}$	[°C]	střední teplota ohřáté j -té vrstvy materiálu stěny
	T_j	[°C]	teplota na jednom povrchu ohřáté j -té vrstvy stěny
	T_{j+1}	[°C]	teplota na opačném povrchu j -té ohřáté vrstvy stěny



Obr. 7 Rozložení teplot v ohřáté konstrukci stěny s n vrstvami

Výpočet jednotlivých teplot na rozhraní mezi dvěma ohřátými vrstvami materiálu

$$T_j = \theta_{\text{int},i} - \dot{q}_k \cdot R_{ij} \quad (4.14)$$

kde	T_j	[°C]	teplota na povrchu ohřáté vrstvy materiálu
	$\theta_{\text{int},i}$	[°C]	výpočtová vnitřní teplota vytápěné místnosti
	\dot{q}_k	[W·m ⁻²]	měrný tepelný tok ohřátou stěnou
	R_{ij}	[m ² ·K·W ⁻¹]	tepelný odpor mezi vnitřním prostředím vytápěné místnosti a místem, ke kterému je vztažena teplota T_j

Výpočet měrného tepelného toku ohřátou stěnou

$$\dot{q}_k = U_k \cdot (\theta_{\text{int},i} - \theta_{\text{out}}) \quad (4.15)$$

kde	\dot{q}_k	[W·m ⁻²]	měrný tepelný tok ohřátou stěnou
	U_k	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel prostupu tepla k -té stavební části
	$\theta_{\text{int},i}$	[°C]	výpočtová vnitřní teplota i -té vytápěné místnosti
	θ_{out}	[°C]	teplota na venkovní straně

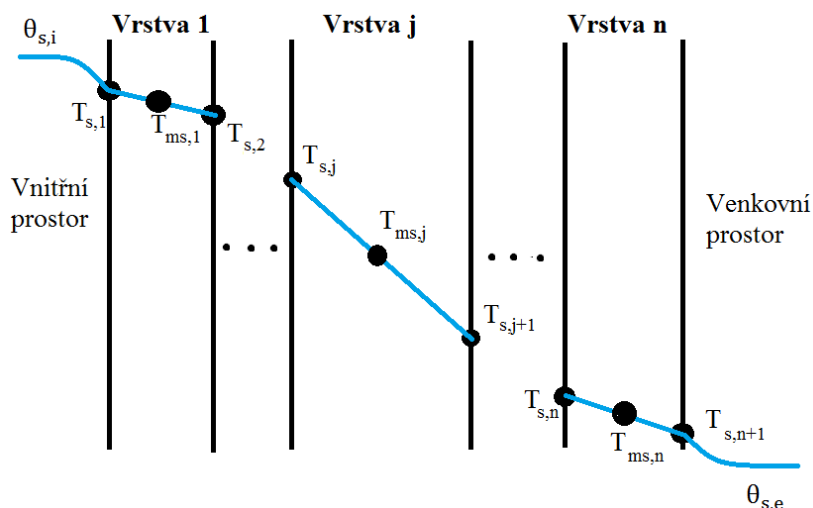
Teplota na venkovní straně (θ_{out}) vyjadřuje teplotu prostředí za stěnou. V případě, že stěna odděluje vytápěný prostor od venkovního prostředí, bude teplota na venkovní straně (θ_{out}) rovna výpočtové venkovní teplotě (θ_e), která má v dané lokalitě hodnotu -15 °C. Pokud stěna odděluje vytápěnou místnost od nevytápěné místnosti, bude teplota na venkovní straně rovna teplotě nevytápěné místnosti (T_{ie}). Pokud odděluje stěna vytápěnou místnost od vytápěné místnosti, bude teplota na venkovní straně rovna výpočtové teplotě ($\theta_{\text{int},i}$) dané místnosti.

Výpočet střední teploty studené vrstvy

Pro výpočet střední teploty jednotlivých studených vrstev se uvažuje lineární pokles teplot v dané vrstvě.

$$T_{\text{ms},j} = \frac{T_{s,j} + T_{s,j+1}}{2} \quad (4.16)$$

kde	$T_{\text{ms},j}$	[°C]	střední teplota studené j -té vrstvy materiálu stěny
	$T_{j,s}$	[°C]	teplota na povrchu studené j -té vrstvy stěny
	$T_{s,j+1}$	[°C]	teplota na povrchu z druhé strany studené j -té vrstvy stěny



Obr. 8 Rozložení teplot u studené konstrukce stěny s n vrstvami

Výpočet jednotlivých teplot na rozhraní mezi dvěma studenými vrstvami materiálu

$$T_{s,j} = \theta_{s,i} - \dot{q}_{s,k} \cdot R_{ij} \quad (4.17)$$

kde	$T_{s,j}$	[°C]	teplota na rozhraní mezi dvěma studenými vrstvami materiálu
	$\theta_{s,i}$	[°C]	vnitřní teplota vytápěné místnosti v době útlumu
	$\dot{q}_{s,k}$	[W·m ⁻²]	měrný tepelný tok studenou stěnou
	R_{ij}	[m ² ·K·W ⁻¹]	tepelný odpor mezi vnitřním prostředím vytápěné místnosti a místem, ke kterému je vztažena teplota T_j

Výpočet měrného tepelného toku studenou stěnou

$$\dot{q}_{s,k} = U_k \cdot (\theta_{s,i} - \theta_{s,e}) \quad (4.18)$$

kde	$\dot{q}_{s,k}$	[W·m ⁻²]	měrný tepelný tok ohřátou stěnou
	U_k	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel prostupu tepla k -té stavební části
	$\theta_{s,i}$	[°C]	vnitřní teplota vytápěné místnosti v době útlumu
	$\theta_{s,e}$	[°C]	teplota na venkovní straně v době útlumu

Odhad vnitřní teploty vytápěné místnosti v době útlumu [9]

K odhadu teploty vytápěné místnosti v době útlumu lze využít výpočet nestacionárního vedení tepla ve zdech místností. Tato metoda slouží k určení, na jakou teplotu poklesne teplota na povrchu stěny za dobu útlumu. Vzhledem k tomu, že vzduch má nízkou měrnou tepelnou kapacitu, lze předpokládat, že vnitřní teplota vytápěné místnosti v době útlumu bude mít podobnou hodnotu jako teplota na vnitřním povrchu stěny v době útlumu. Pro zjednodušení výpočtu není uvažován vliv chladnutí vnitřních stěn a vliv oken a dveří na vnitřní teplotu.

Výpočet teploty v místnosti v době útlumu

Počítá se pouze v případě, že má místnost více stěn, které ji oddělují přímo od venkovního prostředí.

$$T_{0,i} = \frac{\sum T_{0,k} \cdot S_k}{\sum S_k} \quad (4.19)$$

kde	$T_{0,i}$	[°C]	teplota v místnosti v době útlumu
	$T_{0,k}$	[°C]	teplota na vnitřním povrchu stěny k -té konstrukce v době útlumu
	S_k	[m ²]	plocha stěny k -té konstrukce

Výpočet teploty na vnitřním povrchu stěny v době útlumu

$$T_{0,k} = \theta^* \cdot (T_{1,k} - \theta_{out}) + \theta_{out} \quad (4.20)$$

kde	$T_{0,k}$	[°C]	teplota na vnitřním povrchu stěny k -té konstrukce v době útlumu
	$T_{1,k}$	[°C]	teplota na vnitřním povrchu ohřáté stěny
	θ^*	[°C]	bezrozměrná teplota
	θ_{out}	[°C]	teplota na venkovní straně

Teplota na venkovní straně (θ_{out}) se rovná výpočtové venkovní teplotě (θ_e), která má hodnotu $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Výpočet teploty na vnitřním povrchu ohřáté stěny

$$T_{1,k} = \theta_{\text{int},i} - \dot{q}_k \cdot R_{\text{si}} \quad (4.21)$$

kde	$T_{1,k}$	[$^{\circ}\text{C}$]	teplota na vnitřním povrchu ohřáté stěny
	$\theta_{\text{int},i}$	[$^{\circ}\text{C}$]	výpočtová vnitřní teplota vytápěné místnosti
	\dot{q}_k	[$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]	měrný tepelný tok ohřátou stěnou
	R_{si}	[$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]	tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce

Výpočet měrného tepelného toku ohřátou stěnou je uveden výše (rovnice 4.15). Hodnoty pro tepelný odpor při přestupu na vnitřní straně jsou uvedeny v tab. 5 (viz výše). Bezrozměrná teplota se stanoví z Heislerova diagramu pro desku. Pro odečtení z diagramu je třeba znát Biotovo a Fourierovo číslo.

Výpočet Biotova čísla

$$Bi = \frac{\alpha_{\text{se}} \cdot L_c}{\bar{\lambda}_k} \quad (4.22)$$

kde	Bi	[-]	Biotovo číslo
	α_{se}	[$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]	součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce
	L_c	[m]	charakteristický rozměr
	$\bar{\lambda}_k$	[$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	průměrný součinitel tepelné vodivosti stěny k -té konstrukce

Charakteristický rozměr (L_c) je u stěny **roven** její tloušťce, neboť k ochlazování stěny dochází jen z jedné strany.

Výpočet průměrného součinitele tepelné vodivosti stěny

$$\bar{\lambda}_k = \frac{\sum \lambda_j \cdot d_j}{d_k} \quad (4.23)$$

kde	$\bar{\lambda}_k$	[$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	průměrný součinitel tepelné vodivosti stěny k -té konstrukce
	λ_j	[$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	součinitel tepelné vodivosti j -té vrstvy stěny
	d_j	[m]	tloušťka j -té vrstvy stěny
	d_k	[m]	tloušťka celé stěny k -té konstrukce

Výpočet součinitele přestupu tepla na vnější straně konstrukce

$$\alpha_{\text{se}} = \frac{1}{R_{\text{se}}} \quad (4.24)$$

kde	α_{se}	[$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]	součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce
	R_{se}	[$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]	tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce

Výpočet Fourierova čísla

$$Fo = \frac{a \cdot \tau_{\text{út}}}{L_c^2} \quad (4.25)$$

kde	Fo	[-]	Fourierovo číslo
	a	$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$	teplotní vodivost
	$\tau_{\text{út}}$	[s]	doba útlumu
	L_c	[m]	charakteristický rozměr

I v tomto případě platí, že charakteristický rozměr (L_c) je u stěny roven její tloušťce. Doba útlumu ($\tau_{\text{út}}$) je doba od ukončení vytápění do počátku vytápění. Jelikož doba vytápění je mezi pátečním ránem a nedělním odpolednem, doba útlumu bude odpovídat asi 111 hodinám.

Výpočet teplotní vodivosti

$$a = \frac{\bar{\lambda}_k}{\bar{\rho}_k \cdot \bar{c}_k} \quad (4.26)$$

kde	a	$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$	teplotní vodivost
	$\bar{\lambda}_k$	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$	průměrný součinitel tepelné vodivosti stěny k -té konstrukce
	$\bar{\rho}_k$	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	průměrná hustota stěny k -té konstrukce
	\bar{c}_k	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$	průměrná měrná tepelná kapacita stěny k -té konstrukce

Výpočet průměrné hustoty stěny

$$\bar{\rho}_k = \frac{\sum \rho_j \cdot d_j}{d_k} \quad (4.27)$$

kde	$\bar{\rho}_k$	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	průměrná hustota stěny k -té konstrukce
	ρ_j	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	hustota j -té vrstvy stěny
	d_j	[m]	tloušťka j -té vrstvy stěny
	d_k	[m]	tloušťka celé stěny k -té konstrukce

Výpočet průměrné měrné tepelné kapacity stěny

$$\bar{c}_k = \frac{\sum c_j \cdot d_j}{d_k} \quad (4.28)$$

kde	\bar{c}_k	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$	průměrná měrná tepelná kapacita stěny k -té konstrukce
	c_j	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$	měrná tepelná kapacita j -té vrstvy stěny
	d_j	[m]	tloušťka j -té vrstvy stěny
	d_k	[m]	tloušťka celé stěny k -té konstrukce

Příklad odhadu vnitřní teploty v době útlumu pro koupelnu a WC (č. m. 103)

V místnosti koupelna a WC (č. m. 103) jsou 4 typy konstrukcí, které oddělují místnost od venkovního prostředí.

Pro konstrukci vnější stěna 1 (3.1) platí:

Průměrný součinitel tepelné vodivosti stěny:

$$\begin{aligned}\bar{\lambda}_k &= \frac{\sum \lambda_j \cdot d_j}{d_k} = \\ &= \frac{2 \cdot 0,99 \cdot 0,025 + 0,21 \cdot 0,1 + 0,84 \cdot 0,14 + 1,1 \cdot 0,03}{0,32} = 0,69 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}\end{aligned}$$

Průměrná hustota stěny:

$$\begin{aligned}\bar{\rho}_k &= \frac{\sum \rho_j \cdot d_j}{d_k} = \\ &= \frac{2 \cdot 2000 \cdot 0,025 + 580 \cdot 0,1 + 1900 \cdot 0,14 + 1500 \cdot 0,03}{0,32} = 1465,63 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\end{aligned}$$

Průměrná měrná tepelná kapacita stěny [4]:

$$\begin{aligned}\bar{c}_k &= \frac{\sum c_j \cdot d_j}{d_k} = \\ &= \frac{2 \cdot 790 \cdot 0,025 + 840 \cdot 0,1 + 900 \cdot 0,14 + 1050 \cdot 0,03}{0,32} = 878,13 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\end{aligned}$$

Teplotní vodivost:

$$a = \frac{\bar{\lambda}_k}{\bar{\rho}_k \cdot \bar{c}_k} = \frac{0,69}{1465,65 \cdot 878,13} = 5,4 \cdot 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Fourierovo číslo:

$$Fo = \frac{a \cdot \tau_{\text{út}}}{L_c^2} = \frac{5,4 \cdot 10^{-7} \cdot 399600}{0,32^2} = 0,67$$

Charakteristický rozměr se rovná tloušťce konstrukce stěny. Doba útlumu je navržena na 111 hodin, což odpovídá 399 600 sekundám.

Součinitel přestupu tepla na vnější straně:

$$\alpha_{se} = \frac{1}{R_{se}} = \frac{1}{0,04} = 25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Biotovo číslo:

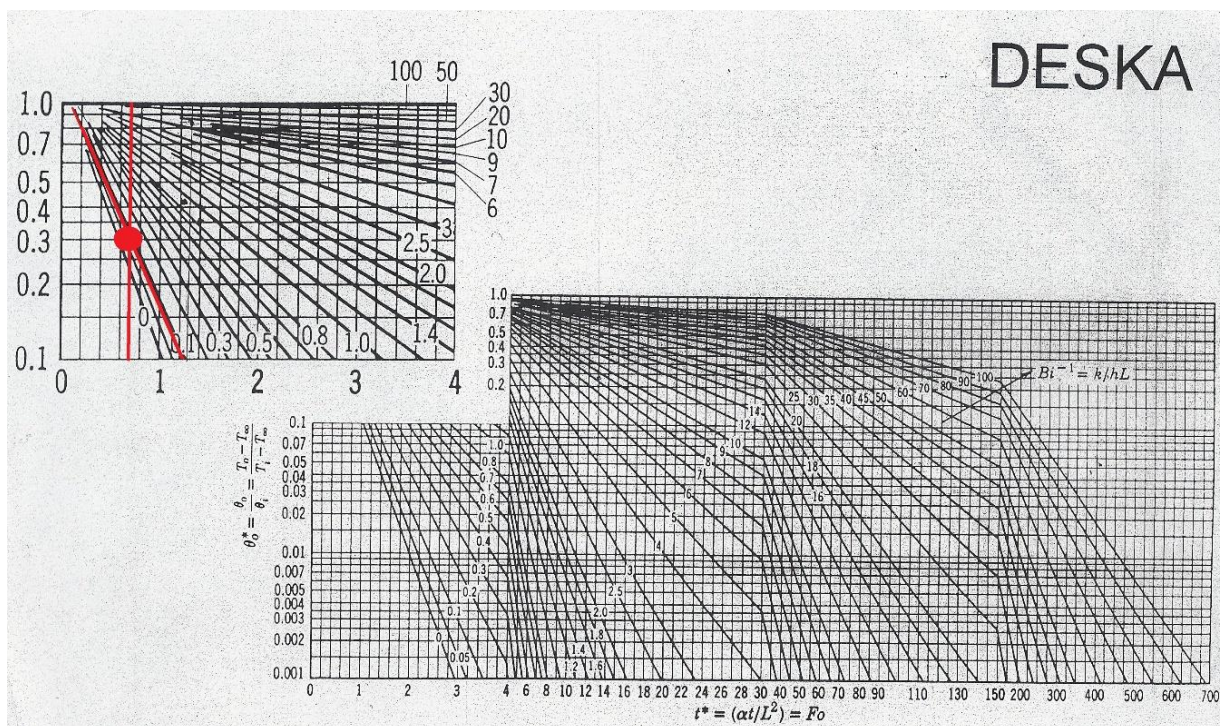
$$Bi = \frac{\alpha_{se} \cdot L_c}{\bar{\lambda}_k} = \frac{25 \cdot 0,32}{0,69} = 11,58$$

Pro vyhledávání v diagramu je podstatná převrácená hodnota Biotova čísla.

$$Bi^{-1} = \frac{1}{Bi} = \frac{1}{11,58} = 0,09$$

Bezrozměrná teplota:

Z diagramu lze z Fourierova čísla a převrácené hodnoty Biotova čísla určit bezrozměrnou teplotu.



Obr. 9 Určení bezrozměrné teploty z Heislerova diagramu [9]

Pro Fourierovo číslo 0,67 a převrácenou hodnotu Biotova čísla 0,09 je bezrozměrná teplota (θ^*) rovna přibližně 0,3.

$$\theta^* \cong 0,3$$

Měrný tepelný tok stěnou:

$$\dot{q}_k = U_k \cdot (\theta_{\text{int},i} - \theta_{\text{out}}) = 1,12 \cdot [22 - (-15)] = 41,54 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Teplota na vnitřním povrchu ohřáté stěny:

$$T_{1,k} = \theta_{\text{int},i} - \dot{q}_k \cdot R_{\text{si}} = 22 - 41,54 \cdot 0,13 = 16,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Teplota na vnitřním povrchu stěny v době útlumu:

$$T_{0,k} = \theta^* \cdot (T_{1,k} - \theta_e) + \theta_e = 0,3 \cdot [16,6 - (-15)] - 15 = -5,52 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tab. 11 Výpočet teploty na vnitřním povrchu vnější stěny 1 (č. k. 3.1) v době útlumu v koupelně a WC (č. m. 103)

Vnitřní teplota 103 vnější stěna 1 (3.1)			
Průměrná tep. vodivost	λ_k	W/(m·K)	0,69
Průměrná hustota	ρ_k	kg/m ³	1465,63
Průměrná měrná tepelná kapacita	c_k	J/(kg·K)	878,13
Teplotní vodivost	a	m ² /s	5,4E-07
Čas	$T_{\text{út}}$	s	399600
Charakteristický rozměr	L_c	m	0,32
Fourierovo číslo	Fo	-	0,67
Tepelný odpor na vnější straně	R_{se}	m ² ·K/W	0,04
Součinitel přestupu tepla na vnější straně	α_{se}	W/(m ² ·K)	25

Biotovo číslo	Bi	-	11,58
Převrácená hodnota Biotova čísla	Bi ⁻¹	-	0,09
Bezrozměrná teplota	θ*	-	0,30
Vnější teplota místnosti	θ _{out}	°C	-15
Vnitřní teplota místnosti	θ _{int,i}	°C	22
Součinitel prostupu tepla	U _k	W/(m ² ·K)	1,12
Měrný tepelný tok ohřátou stavební částí	Q _k	W/m ²	41,54
Tepelný odpor na vnitřní straně	R _{si}	m ² K/W	0,13
Teplota na vnitřním povrchu ohřáté stěny	T _{1,k}	°C	16,60
Teplota na vnitřním povrchu v době útlumu	T_{0,k}	°C	-5,52

Koupelna a WC (č. m. 103) má 4 typy konstrukcí stěn, které oddělují vnitřní prostor od venkovního. Teploty na vnitřních površích zbylých 3 konstrukcí se stanoví stejným způsobem.

Tab. 12 Teploty na vnitřních površích a plochy konstrukcí stěn v koupelně a WC (č. m. 103)

Vnitřní teplota v době útlumu			
Číslo konstrukce 2.2	Podlaha, dlažba vnější		
Teplota na vnitřním povrchu v době útlumu	T _{0,k}	°C	-10,39
Plocha stěny konstrukce	S _k	m ²	3,75
Číslo konstrukce 3.1	Vnější stěna 1		
Teplota na vnitřním povrchu v době útlumu	T _{0,k}	°C	-5,52
Plocha stěny konstrukce	S _k	m ²	2,58
Číslo konstrukce 3.2	Vnější stěna 2		
Teplota na vnitřním povrchu v době útlumu	T _{0,k}	°C	-8,18
Plocha stěny konstrukce	S _k	m ²	5,81
Číslo konstrukce 8	Strop nad verandou a koupelnou		
Teplota na vnitřním povrchu v době útlumu	T _{0,k}	°C	-6,80
Plocha stěny konstrukce	S _k	m ²	3,75

Výpočet teploty v místnosti v době útlumu:

$$T_{0,i} = \frac{\sum T_{0,k} \cdot S_k}{\sum S_k} = \frac{-10,39 \cdot 3,75 - 5,52 \cdot 2,58 - 8,18 \cdot 5,81 - 6,8 \cdot 3,75}{3,75 + 2,58 + 5,81 + 3,75} \cong -8 \text{ °C}$$

Teplota v koupelně a WC (č. m. 103) bude přibližně -8 °C.

Tab. 13 Přehled teplot ve vytápěných místnostech v době útlumu

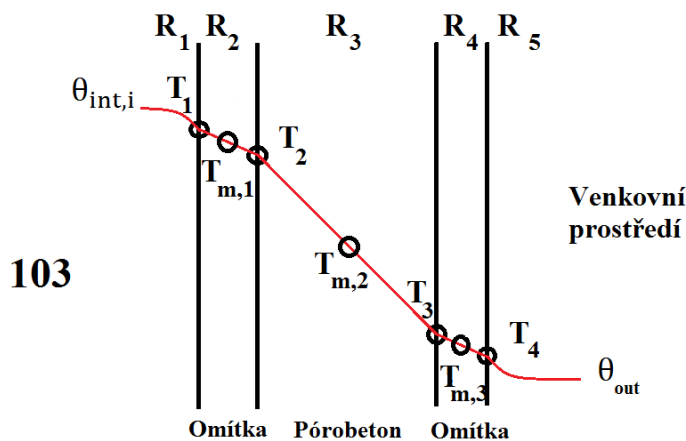
Kód	Název místnosti	Teplota v místnosti v době útlumu	
		$T_{0,i}$	°C
103	Koupelna + WC	-8	°C
105	Kuchyně	-9	°C
106	Chodba	-9	°C
107	Obývací pokoj	-8	°C
108	Pokoj	-8	°C
109	Ložnice	-8	°C
110	Schodiště II	-9	°C

Z tab. 13 je patrné, že teplota uvnitř vytápěných místností poklesne velmi výrazně. Podobným způsobem poklesne též teplota uvnitř nevytápěných místností v době útlumu. Teplota ve vytápěných místnostech poklesne za dobu útlumu zhruba o 80 %. Za předpokladu, že teplota uvnitř nevytápěných místností poklesne za dobu útlumu stejným způsobem, bude teplota v nevytápěných místnostech na konci doby útlumu přibližně -12 °C. Jediný rozdíl bude ve spíži (č. m. 104), kde je teplota nevytápěné místnosti vyšší než u ostatních nevytápěných místností. Předpokládaná teplota ve spíži v době útlumu bude asi -11 °C.

Příklad výpočtu odhadu zátopového tepelného výkonu pro místnost koupelna a WC (č. m. 103)

Pro místnost koupelna a WC (č. m. 103) je celkem 9 různých konstrukcí.

Pro konstrukci vnější stěny 3.1 platí:



Obr. 10 Rozložení teplot a skladba vnější stěny (č. k. 3.1)

Tab. 14 Základní údaje pro vnější stěnu 1 (č. k. 3.1)

Teplota na venkovní straně	θ_{out}	°C	-15
Vnitřní výpočtová teplota	$\theta_{int,i}$	°C	22
Teplota na venkovní straně v době útlumu	$\theta_{s,e}$	°C	-15
Vnitřní výpočtová teplota v době útlumu	$\theta_{s,i}$	°C	-8
Součinitel prostupu tepla	U_k	W/(m ² ·K)	1,12
Plocha konstrukce stěny	S_k	m ²	2,58

Měrný tepelný tok ohřátou stěnou:

$$\dot{q}_k = U_k \cdot (\theta_{\text{int},i} - \theta_{\text{out}}) = 1,12 \cdot [22 - (-15)] = 41,44 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Teplota na vnitřním povrchu stěny:

$$T_j = \theta_{\text{int},i} - \dot{q}_k \cdot R_{ij} = 22 - 41,44 \cdot 0,13 = 16,61 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tepelný odpor na vnitřním povrchu stěny (R_{ij}) vyjadřuje tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (R_{si}). Při vodorovném toku má hodnotu $0,13 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (viz tab. 5).

Teplota mezi omítkou 1 a pórobetonem:

$$T_{j+1} = \theta_{\text{int},i} - \dot{q}_k \cdot R_{j+1} = 22 - 41,44 \cdot (0,13 + 0,03) = 15,37 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tepelný odpor mezi omítkou 1 a pórobetonem (R_{ij}) se skládá z tepelného odporu při přestupu tepla na vnitřní straně (R_{si}) a z tepelného odporu omítky ($R_{\text{omítky}}$).

Střední teplota ohřáté vrstvy:

$$T_{m,j} = \frac{T_j + T_{j+1}}{2} = \frac{16,61 + 15,37}{2} = 15,99 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Měrný tepelný tok studenou stěnou:

$$\dot{q}_{s,k} = U_k \cdot (\theta_{s,i} - \theta_{s,e}) = 1,12 \cdot [(-8) - (-15)] = 7,84 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Teplota na vnitřním povrchu stěny v době útlumu:

$$T_{s,j} = \theta_{s,i} - \dot{q}_{s,k} \cdot R_{ij} = -8 - 7,84 \cdot 0,13 = -9,02 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Hodnoty tepelných odporů zůstávají v době útlumu stejné, jako jsou v případě nahřáté konstrukce.

Teplota mezi omítkou 1 a pórobetonem v době útlumu:

$$T_{s,j+1} = \theta_{s,e} - \dot{q}_{s,k} \cdot R_{ij+1} = -8 - 7,86 \cdot (0,13 + 0,03) = -9,25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Střední teplota studené vrstvy:

$$T_{ms,j} = \frac{T_{s,j} + T_{s,j+1}}{2} = \frac{-9,02 + (-9,25)}{2} = -9,14 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Teplotní rozdíl vrstvy:

$$\Delta T_{ak,j} = T_{m,j} - T_{ms,j} = 15,99 - (-9,14) = 25,14 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Hmotnost vrstvy:

$$m_j = \rho_j \cdot V_j = \rho_j \cdot S_k \cdot d_j = 2000 \cdot 2,58 \cdot 0,025 = 129,00 \text{ kg}$$

Potřeba tepla k ohřátí vrstvy:

$$Q_{ak,j} = m_j \cdot c_j \cdot \Delta T_{ak,j} = 129,00 \cdot 790 \cdot 25,14 = 2,57 \cdot 10^6 \text{ J} = \mathbf{2,56 \text{ GJ}}$$

Stejným způsobem se stanoví i hodnoty pro potřeby tepla k ohřátí ostatních vrstev konstrukce.

Tab. 15 Výpočet potřeby tepla na ohřátí vnější stěny 1 (č. k. 3.1)

Teplotní údaje			
Prostředí na venkovní straně	Venkovní prostředí		
Teplota na venkovní straně	θ_{out}	°C	-15
Vnitřní výpočtová teplota	$\theta_{int,i}$	°C	22
Teplota na venkovní straně v době útlumu	$\theta_{s,e}$	°C	-15
Vnitřní výpočtová teplota v době útlumu	$\theta_{s,i}$	°C	-8
Potřeba tepla na ohřátí stavební části 3.1			
Měrný tepelný tok ohřátou stěnou	q_k	W/m ²	41,44
Měrný tepelný tok studenou stěnou	$q_{s,k}$	W/m ²	7,84
Omítka vápenocementová 1			
Teplota na vnitřní stěně	T_j	°C	16,61
Teplota mezi omítkou 1 a pórobetonem	T_{j+1}	°C	15,37
Střední teplota ohřáté vrstvy	$T_{m,j}$	°C	15,99
Teplota na vnitřní stěně v době útlumu	$T_{s,j}$	°C	-9,02
Teplota mezi omítkou 1 a pórobetonem v době útlumu	$T_{s,j+1}$	°C	-9,25
Střední teplota studené vrstvy	$T_{ms,j}$	°C	-9,14
Teplotní rozdíl vrstvy stěny	$\Delta T_{ak,j}$	°C	25,13
Hmotnost vrstvy	m_j	kg	129,00
Potřeba tepla na ohřátí vrstvy	$Q_{ak,j}$	J	2560794
Pórobeton			
Teplota mezi omítkou 1 a pórobetonem	T_j	°C	15,37
Teplota mezi pórobetonem a cihlou	T_{j+1}	°C	-4,17
Střední teplota ohřáté vrstvy	$T_{m,j}$	°C	5,60
Teplota mezi omítkou 1 a pórobetonem v době útlumu	$T_{s,j}$	°C	-9,25
Teplota mezi pórobetonem a cihlou v době útlumu	$T_{s,j+1}$	°C	-12,95
Střední teplota studené vrstvy	$T_{ms,j}$	°C	-11,10
Teplotní rozdíl vrstvy stěny	$\Delta T_{ak,j}$	°C	16,70
Hmotnost vrstvy	m_j	kg	149,64
Potřeba tepla na ohřátí vrstvy	$Q_{ak,j}$	J	2099622
Cihla pálená			
Teplota mezi pórobetonem a cihlou	T_j	°C	-4,17
Teplota mezi cihlou a omítkou 2	T_{j+1}	°C	-11,07
Střední teplota ohřáté vrstvy	$T_{m,j}$	°C	-7,62
Teplota mezi pórobetonem a cihlou v době útlumu	$T_{s,j}$	°C	-12,95
Teplota mezi cihlou a omítkou 2 v době útlumu	$T_{s,j+1}$	°C	-14,26
Střední teplota studené vrstvy	$T_{ms,j}$	°C	-13,60
Teplotní rozdíl vrstvy stěny	$\Delta T_{ak,j}$	°C	5,98
Hmotnost vrstvy	m_j	kg	686,28

Potřeba tepla na ohřátí vrstvy	$Q_{ak,j}$	J	3695730
Omítka vápenocementová 2			
Teplota mezi cihlou a omítkou 2	T_j	°C	-11,07
Teplota mezi omítkou 2 a brizolitem	T_{j+1}	°C	-12,12
Střední teplota ohřáté vrstvy	$T_{m,j}$	°C	-11,60
Teplota mezi cihlou a omítkou 2 v době útlumu	$T_{s,j}$	°C	-14,26
Teplota mezi omítkou 2 a brizolitem v době útlumu	$T_{s,j+1}$	°C	-14,46
Střední teplota studené vrstvy	$T_{ms,j}$	°C	-14,36
Teplotní rozdíl vrstvy stěny	$\Delta T_{ak,j}$	°C	2,76
Hmotnost vrstvy	m_j	kg	129,00
Potřeba tepla na ohřátí vrstvy	$Q_{ak,j}$	J	281197
Brizolit			
Teplota mezi omítkou 2 a brizolitem	T_j	°C	-12,12
Teplota na venkovní stěně	T_{j+1}	°C	-13,25
Střední teplota ohřáté vrstvy	$T_{m,j}$	°C	-12,69
Teplota mezi omítkou 2 a brizolitem v době útlumu	$T_{s,j}$	°C	-14,46
Teplota na venkovní stěně v době útlumu	$T_{s,j+1}$	°C	-14,67
Střední teplota studené vrstvy	$T_{ms,j}$	°C	-14,56
Teplotní rozdíl vrstvy stěny	$\Delta T_{ak,j}$	°C	1,88
Hmotnost vrstvy	m_j	kg	116,10
Potřeba tepla na ohřátí vrstvy	$Q_{ak,j}$	J	228797

Potřeba tepla k ohřátí stěny:

$$Q_{ak,i} = \sum Q_{ak,j} = 2,56 \cdot 10^6 + 2,10 \cdot 10^6 + 3,70 \cdot 10^6 + 0,28 \cdot 10^6 + 0,23 \cdot 10^6 = 8,82 \cdot 10^6 \text{ J} = \mathbf{8,87 \text{ GJ}}$$

Stejným způsobem se stanoví i hodnoty pro ostatní stěny v místnosti.

Tab. 16 Potřeby tepla na ohřátí stěn v koupelně a WC (č. m. 103)

Podlaha, dlažba-vnější	Číslo konstrukce 2.2		
Prostředí na venkovní straně	Venkovní prostředí		
Teplo potřebné k ohřátí stěny	$Q_{ak,k}$	J	13846288
Vnější stěna 1	Číslo konstrukce 3.1		
Prostředí na venkovní straně	Venkovní prostředí		
Teplo potřebné k ohřátí stěny	$Q_{ak,k}$	J	8866142
Vnější stěna 2	Číslo konstrukce 3.2		
Prostředí na venkovní straně	Venkovní prostředí		
Teplo potřebné k ohřátí stěny	$Q_{ak,k}$	J	14393025

Vnitřní stěna pórobeton	Číslo konstrukce 5		
Prostředí na venkovní straně	Nevytápěná místnost (102)		
Teplo potřebné k ohřátí stěny	$Q_{ak,k}$	J	10379804
Vnitřní stěna pórobeton	Číslo konstrukce 5		
Prostředí na venkovní straně	Vytápěná místnost (105)		
Teplo potřebné k ohřátí stěny	$Q_{ak,k}$	J	12414384
Vnitřní stěna pórobeton	Číslo konstrukce 5		
Prostředí na venkovní straně	Vytápěná místnost (103) - vnitřní příčka		
Teplo potřebné k ohřátí stěny	$Q_{ak,k}$	J	4032320
Vnitřní stěna cihlová	Číslo konstrukce 6		
Prostředí na venkovní straně	Nevytápěná místnost (104)		
Teplo potřebné k ohřátí stěny	$Q_{ak,k}$	J	9427824
Vnitřní stěna cihlová širší	Číslo konstrukce 7		
Prostředí na venkovní straně	Nevytápěná místnost (104)		
Teplo potřebné k ohřátí stěny	$Q_{ak,k}$	J	18103601
Strop nad verandou a koupelnou	Číslo konstrukce 8		
Prostředí na venkovní straně	Nevytápěná místnost (104)		
Teplo potřebné k ohřátí stěny	$Q_{ak,k}$	J	26835602

Potřeba tepla na ohřátí stěn místnosti:

$$Q_{ak,i} = \sum Q_{ak,k} =$$

$$= (13,84 + 8,87 + 14,39 + 10,38 + 0,5 \cdot 12,41 + 4,03 + 9,28 + 18,01 + 26,84) \cdot 10^6 =$$

$$= \mathbf{112,10 \text{ GJ}}$$

Potřeba tepla na ohřátí vnitřní pórobetonové stěny (č. k. 5) mezi koupelnou a WC a kuchyní je zde započítána pouze z jedné poloviny, neboť se nachází mezi dvěma vytápěnými místnostmi (viz výše).

Zátopový tepelný výkon vytápěné místnosti:

$$\Phi_{RH,i} = \frac{Q_{ak,i}}{\tau_{RH}} = \frac{112,1 \cdot 10^6}{24 \cdot 3600} = \mathbf{1297 \text{ W}}$$

Doba zátopu je navržena na 24 hodin. V odpoledních hodinách v den příjezdu bude mít uživatel zcela ohřátý vzduch, druhého dne ráno bude mít nahřáté i zdi.

Tab. 17 Zátopové výkony jednotlivých místností

Místnost		Zátopový výkon	
		$\Phi_{RH,i}$	W
103	Koupelna + WC	1297	W
105	Kuchyně	774	W
106	Chodba	667	W
107	Obývací pokoj	1697	W
108	Pokoj	1722	W
109	Ložnice	1736	W
110	Schodiště II	299	W

4.3.4 Výpočet návrhového tepelného výkonu

Návrhový tepelný výkon je výkon, na který jsou dimenzována otopná tělesa v místnostech a zdroj tepla.

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_i + \Phi_{RH,i}$$

kde $\Phi_{HL,i}$ [W] celkový tepelný výkon i -té vytápěné místnosti
 Φ_i [W] návrhová tepelná ztráta i -té vytápěné místnosti
 $\Phi_{RH,i}$ [W] zátopový tepelný výkon i -té vytápěné místnosti

Tab. 18 Návrhový tepelný výkon místností

Místnost		Návrhová tepelná ztráta	Zátopový výkon	Návrhový tepelný výkon	
		Φ_i	$\Phi_{RH,i}$	$\Phi_{HL,i}$	W
103	Koupelna + WC	1663	1297	2960	W
105	Kuchyně	559	774	1333	W
106	Chodba	415	667	1082	W
107	Obývací pokoj	2402	1697	4099	W
108	Pokoj	1807	1722	3529	W
109	Ložnice	1761	1736	3497	W
110	Schodiště II	247	299	546	W
Celkem		8854	8192	17046	W

Návrhová tepelná ztráta rekreačního objektu má hodnotu **17 046 W**.

5. Výpočet potřeby tepla při provozu bez temperování

Aby bylo možné určit nejvhodnější zdroj tepla pro vytápění, je nutné určit potřebu tepla v otopném období.

Otopné období se zahájením a ukončením vytápění pro průměrnou denní teplotu ($\theta_{np,e}$) 12 °C v Moravci (Žďár nad Sázavou) trvá 252 dnů a průměrná venkovní teplota ($\theta_{m,e}$) v tomto období má hodnotu 2,4 °C [1]. Jelikož jsou víkendy rozmístěny během celého otopného období rovnoměrně, dá se předpokládat, že průměrná venkovní teplota o víkendech bude rovna průměrné venkovní teplotě během celého otopného období.

Délka otopného období je 252 dnů, což odpovídá 36 týdnům. Vytápění rekreačního objektu je od pátečního rána do nedělního odpoledne, což odpovídá asi 57 hodinám. Zahájení vytápění lze v dnešní době realizovat různým typem dálkových přenosů, například díky chytrým mobilním telefonům. Návštěvník může proto zahájit vytápění určitou dobu před svým příjezdem a přijet pak do předem vytopeného objektu. Pobyt na rekreační chatě je předpokládán od pátečního odpoledne do nedělního odpoledne, což odpovídá asi 48 hodinám.

Níže uvedené výpočty jsou pouze vzorové, zbývající výpočty jsou uloženy na příloženém CD.

5.1 Výpočet doby vytápění a doby pobytu

Výpočet celkové doby vytápění za jedno otopné období

$$\tau = h \cdot n \cdot 3600 \quad (5.1)$$

kde	τ	[s]	doba vytápění za jedno otopné období
	h	[hod]	doba vytápění při jedné návštěvě
	n	[-]	počet návštěv v otopném období

Celková doba vytápění za jedno otopné období **při víkendovém provozu:**

Při víkendovém provozu bude objekt navštíven 36×. Doba vytápění je při jedné návštěvě 57 hodin.

$$\tau = 57 \cdot 36 \cdot 3600 = 7\,387\,200\text{ s}$$

Celková doba vytápění za jedno otopné období **při provozu jednou za dva týdny:**

Při provozu jednou za dva týdny bude objekt navštíven 18×. Doba vytápění je při jedné návštěvě 57 hodin.

$$\tau = 57 \cdot 18 \cdot 3600 = 3\,693\,600\text{ s}$$

Celková doba vytápění za jedno otopné období **při provozu jeden víkend v měsíci:**

Při provozu jeden víkend v měsíci bude objekt navštíven 8×. Doba vytápění je při jedné návštěvě 57 hodin.

$$\tau = 57 \cdot 8 \cdot 3600 = 1\,641\,600\text{ s}$$

Výpočet celkové doby pobytu za jedno otopné období

$$\tau_p = h_p \cdot n \cdot 3600 \quad (5.2)$$

kde	τ_p	[s]	doba pobytu za jedno otopné období
	h_p	[hod]	doba pobytu v jednom týdnu
	n	[-]	počet návštěv v otopném období

Výpočet celkové doby pobytu za jedno otopné období **při víkendovém provozu:**

Při víkendovém provozu bude objekt navštíven 36x. Doba pobytu je při jedné návštěvě 48 hodin.

$$\tau_p = 48 \cdot 36 \cdot 3600 = 6\,220\,800s$$

Výpočet celkové doby pobytu za jedno otopné období **při provozu každý druhý víkend:**

Při provozu každý druhý víkend bude objekt navštíven 18x. Doba pobytu je při jedné návštěvě 48 hodin.

$$\tau_p = 48 \cdot 18 \cdot 3600 = 3\,110\,400s$$

Výpočet celkové doby pobytu za jedno otopné období **při provozu jeden víkend v měsíci:**

Při provozu jeden víkend v měsíci bude objekt navštíven 8x. Doba pobytu je při jedné návštěvě 48 hodin.

$$\tau_p = 48 \cdot 8 \cdot 3600 \tau_p = 1\,382\,400s$$

5.2 Potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát

Jedná se o potřebu tepla, které odejde ven při prostupu tepla konstrukcí vlivem rozdílu teplot mezi vnitřním a vnějším prostředím a při větrání. Získáme ji, pokud vynásobíme tepelnou ztrátu v otopném období časem. Čas se u tepelné ztráty prostupem a větráním liší, neboť ztráty prostupem vznikají od ohřátí vnitřního vzduchu a ztráty větráním se uvažují až v přítomnosti člověka, který větrání provádí. Čas potřebný k ohřátí vnitřního vzduchu je vlivem jeho nízké měrné tepelné kapacity velmi krátký. Pro zjednodušení lze uvažovat počátek vytápění za čas, kdy začíná vznikat tepelná ztráta prostupem.

Výpočet potřeby tepla na pokrytí tepelných ztrát v otopném období při víkendovém provozu

$$Q_p = \sum (\bar{\Phi}_{T,i} \cdot \tau + \bar{\Phi}_{V,i} \cdot \tau_p) \quad (5.3)$$

kde	Q_p	[J]	celková potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát v otopném období
	$\bar{\Phi}_{T,i}$	[W]	průměrná tepelná ztráta prostupem i -té vytápěné místnosti v otopném období
	τ	[s]	doba vytápění za jedno otopné období
	$\bar{\Phi}_{V,i}$	[W]	průměrná tepelná ztráta větráním i -té vytápěné místnosti v otopném období
	τ_p	[s]	doba pobytu za jedno otopné období

Odvození průměrné tepelné ztráty

Pro výpočet libovolného průměrného tepelného toku (\bar{Q}) , čímž je i průměrná tepelná ztráta vytápěné místnosti v otopném období, platí:

$$\bar{Q} = \overline{U \cdot S \cdot (\theta_{\text{int},i} - \theta_e)} \quad (5.4)$$

kde	\bar{Q}	[W]	průměrný tepelný tok
	U	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel prostupu tepla
	S	[m ²]	celková plocha
	$\theta_{\text{int},i}$	[°C]	výpočtová vnitřní teplota vytápěné místnosti
	θ_e	[°C]	výpočtová venkovní teplota

Hodnoty pro součinitel prostupu tepla (U), celkovou plochu (S) a výpočtovou vnitřní teplotu ($\theta_{\text{int},i}$) jsou po celé otopné období konstantní. Po úpravě předchozí rovnice platí:

$$\bar{Q} = U \cdot S \cdot (\theta_{\text{int},i} - \bar{\theta}_e) \quad (5.5)$$

Z tohoto vztahu vyplývá, že pro výpočet tepelného toku lze použít průměrnou venkovní teplotu ($\bar{\theta}_e$), která má v dané lokalitě v otopném období hodnotu 2,4 °C.

Průměrnou tepelnou ztrátu prostupem v otopném období ($\bar{\Phi}_{T,i}$) a průměrnou tepelnou ztrátu větráním ($\bar{\Phi}_{V,i}$) lze stanovit stejným způsobem, jakým byla stanovena u návrhové tepelné ztráty prostupem a větráním při výpočtu návrhového tepelného výkonu budovy (viz kap. 4.3.1 a 4.3.2). Jediný rozdíl bude, že výpočtová venkovní teplota bude mít hodnotu 2,4 °C.

Tab. 19 Výpočet průměrné tepelné ztráty prostupem pro koupelnu a WC (č. m. 103)

Tepelné ztráty prostupem						
Kód	Stavební část	f _k	A _k	U _k	f _k ·A _k ·U _k	
		-	m ²	W/m ² ·K	W/K	
2.2	Podlaha, dlažba - vnější	1,40	3,75	1,81	9,49	
3.1	Vnější stěna 1	1,40	2,58	1,12	4,06	
3.2	Vnější stěna 2	1,40	5,81	1,25	10,15	
5	Vnitřní stěna pórobeton	1,12	3,87	1,27	5,51	
5	Vnitřní stěna pórobeton	0,42	3,60	1,27	1,92	
6	Vnitřní stěna cihlová	1,12	1,26	2,10	2,96	
7	Vnitřní stěna cihlová širší	1,12	1,34	1,52	2,29	
8	Strop nad verandou a koupelnou	1,00	3,75	0,36	1,35	
22	Vnitřní dveře plné	1,12	1,17	2,00	2,62	
Průměrná tepelná ztráta prostupem		$\Phi_{T,i}=\sum f_k \cdot A_k \cdot U_k \cdot (\theta_{int,i}-\theta_e)$			W	790,8

Tab. 20 Výpočet průměrné tepelné ztráty větráním pro koupelnu a WC (č. m. 103)

Tepelná ztráta větráním					
Vnitřní objem	V _i	m ³	9		
Nejmenší intenzita výměny vzduchu	n _{min}	-	1,50		
Průměrná tepelná ztráta větráním	$\Phi_{V,i}=0,34 \cdot V_i \cdot n_{min} \cdot (\theta_{int,i}-\theta_e)$			W	

Průměrná tepelná ztráta pro koupelnu a WC **při víkendovém provozu:**

$$Q_p = \bar{\Phi}_{T,i} \cdot \tau + \bar{\Phi}_{V,i} \cdot \tau_p =$$

$$= 790,8 \cdot 7 \, 387 \, 200 + 89,96 \cdot 6 \, 220 \, 800 = \mathbf{6,4 \, GJ}$$

Průměrná tepelná ztráta pro koupelnu a WC **při provozu jednou za dva týdny:**

$$Q_p = \bar{\Phi}_{T,i} \cdot \tau + \bar{\Phi}_{V,i} \cdot \tau_p =$$

$$= 790,8 \cdot 3 \, 693 \, 600 + 89,96 \cdot 3 \, 110 \, 400 = \mathbf{3,2 \, GJ}$$

Průměrná tepelná ztráta pro koupelnu a WC při provozu jednou za měsíc:

$$Q_p = \bar{\Phi}_{T,i} \cdot \tau + \bar{\Phi}_{V,i} \cdot \tau_p =$$

$$= 790,8 \cdot 1\,641\,600 + 89,96 \cdot 1\,382\,400 = \mathbf{1,4\,GJ}$$

Tab. 21 Průměrné tepelné ztráty prostupem a větráním ve vytápěných místnostech

Kód	Místnost	Průměrná tepelná ztráta prostupem	Průměrná tepelná ztráta větráním	Potřeba tepla na pokrytí tep. ztrát při víkendovém provozu	Potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát při provozu každý druhý víkend	Potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát při provozu jeden víkend v měsíci
		$\Phi_{T,i}$	$\Phi_{V,i}$	Q_p	Q_p	Q_p
		W	W	GJ	GJ	GJ
103	Koupelna + WC	790,80	89,96	6,40	3,20	1,42
105	Kuchyně	166,73	68,17	1,66	0,83	0,37
106	Chodba	158,95	15,17	1,27	0,63	0,28
107	Obývací pokoj	1106,14	101,82	8,80	4,40	1,96
108	Pokoj	833,00	75,61	6,62	3,31	1,47
109	Ložnice	830,81	54,72	6,48	3,24	1,44
110	Schodiště II	96,16	7,46	0,87	0,43	0,19
	Celkem	3982,59	412,91	32,10	16,05	7,13

Za jedno otopné období je **potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát** budovy při víkendovém provozu **32,1 GJ**, při provozu každý druhý víkend **16,05 GJ** a při provozu jeden víkend v měsíci **7,13 GJ**.

5.3 Potřeba tepla na ohřátí stěn

Potřeba tepla na ohřátí stěn vyplývá z rozdílu mezi stavem, kdy se nevytápí a stěny jsou vychlazené, a rovnovážným stavem, který vznikne při vytápění místnosti na požadovanou teplotu. Během doby útlumu nestihne teplota uvnitř místností a teplota stěn poklesnout na teplotu venkovního vzduchu.

5.3.1 Potřeba tepla na ohřátí stěn při víkendovém provozu

Výpočet celkové potřeby tepla k ohřátí stěn za jedno otopné období při víkendovém provozu

$$Q_a = Q_{a1} \cdot n \quad (5.6)$$

kde Q_{at} [J] celková potřeba tepla k ohřátí stěn za jedno otopné období při víkendovém provozu
 Q_{a1} [J] celková potřeba tepla k jednomu ohřátí stěn
 n [-] počet návštěv v otopném období

Výpočet celkové potřeby tepla k jednomu ohřátí stěn

$$Q_{a1} = \sum Q_{ak,k} \quad (5.7)$$

kde	Q_{a1}	[J]	celková potřeba tepla k jednomu ohřátí stěn
	$Q_{ak,k}$	[J]	potřeba tepla k ohřátí stěny k -té konstrukce

Potřeba tepla k ohřátí stěny k -té konstrukce při víkendovém provozu se spočítá stejným způsobem, jako v případě odhadu zátupového výkonu (kap. 4.3.3). Venkovní teplota se po celou dobu rovná průměrné hodnotě v otopném období ($\theta_{m,e}$) a má hodnotu 2,4 °C.

Pro potřebu tepla na ohřátí stěn je nutné přepočítat, na kolik stupňů vychladnou vytápěné a nevytápěné místnosti během doby útlumu a jaká teplota bude uvnitř nevytápěných místností po ohřátí stěn. Odhad vnitřní teploty vytápěné místnosti v době útlumu se spočítá stejně jako u odhadu zátupového výkonu (kap. 4.3.3). V nevytápěných místnostech se předpokládá podobný procentuální pokles teplot jako v případě vytápěných místností.

Odhad průměrné teploty nevytápěné místnosti po ohřátí stěn v otopném období

Poté, co dojde k ohřátí stěn, bude ležet teplota nevytápěného prostoru mezi teplotou venkovního prostředí a teplotou vytápěné místnosti.

Odhad teploty nevytápěné místnosti lze stanovit z počtu stěn oddělujících nevytápěnou místnost od vytápěné místnosti a nevytápěnou místnost od venkovního prostředí.

$$\theta_{h,ie} = \frac{\sum \theta_{int,i} \cdot I_i + \theta_{m,e} \cdot E}{E + \sum I_i} \quad (5.8)$$

kde	$\theta_{h,ie}$	[°C]	teplota nevytápěné místnosti po ohřátí stěn
	$\theta_{int,i}$	[°C]	výpočtová vnitřní teplota i -té vytápěné místnosti
	$\theta_{m,e}$	[°C]	průměrná venkovní teplota v otopném období
	I_i	[-]	počet stěn sousedících s vytápěnou místností
	E	[-]	počet stěn sousedících s venkovním prostředím

Vliv stěn mezi dvěma nevytápěnými místnostmi je v odhadu zanedbán, stejně jako vliv zeminy. V případě, že jedna stěna spojuje nevytápěnou místnost s alespoň dvěma vytápěnými místnostmi, z nichž je každá vytápěna na jinou teplotu, vnitřní teplota vytápěné místnosti se stanoví jako průměr z jednotlivých výpočtových teplot vytápěných místností.

Místnosti schodiště I (č. m. 001), sklep I (č. m. 002) a sklep II (č. m. 005) budou mít velmi podobnou vnitřní teplotu, protože nejsou mezi sebou nijak izolovány. Z tohoto důvodu se budou počítat jako jeden celek. To stejné platí pro půdu I (č. m. 201) a půdu II (č. m. 202). Garáž (č. m. 003) odděluje od venkovního prostoru z jedné strany pouze ocelová vrata. Lze předpokládat, že teplota uvnitř bude rovna venkovní teplotě.

Vzorový výpočet ohřevu pórobetonové vnitřní stěny (konstrukce 5) mezi koupelnou a WC (č. m. 103) a zádveřím (č. m. 102)

Odhad průměrné teploty zádveří (č. m. 102) po ohřátí stěn v otopném období:

Zádveří je ze spodní, horní, jižní a západní strany obklopeno venkovním prostředím ($E=5$). Na severní straně sousedí s koupelnou a WC (č. m. 103) a z východní s chodbou (č. m. 106) ($I_i=2$).

Výpočet teploty v zádveří (č. m. 102):

$$\theta_{h,ie} = \frac{\sum \theta_{int,i} \cdot I_i + \theta_{m,e} \cdot E}{E + \sum I_i} = \frac{(1 \cdot 22 + 1 \cdot 15) + 2,4 \cdot 4}{4 + 2} = 7,77 \text{ °C} \cong 8 \text{ °C}$$

Tab. 22 Teploty v nevytápěných místnostech po ohřátí stěn

Místnost		Počet stěn sousedících s venkovním prostředím	Počet stěn sousedících s vnitřním prostředím	Vnitřní teplota po ohřátí stěn
		E	I	$\theta_{h,ie}$
		-	-	°C
001,002,005	Schodiště I, sklep I, sklep II	3	1	6
102	Zádveří	4	2	8
104	Spíž	1	3	12
201,202	Půda I, půda II	6	4	8

Odhad průměrné vnitřní teploty v době útlumu pro koupelnu a WC (č. m. 103) v otopném období:

Tab. 23 Výpočet průměrné teploty na vnitřním povrchu vnější stěny (č. k. 1)

Vnitřní teplota 103 vnější stěna 1 (3.1)			
Průměrná tep. vodivost	λ_k	W/(m·K)	0,69
Průměrná hustota	ρ_k	kg/m ³	1465,63
Průměrná měrná tepelná kapacita	c_k	J/(kg·K)	878,13
Teplotní vodivost	a	m ² /s	5,4E-07
Čas	$T_{út}$	s	399600
Charakteristický rozměr	L_c	m	0,32
Fourierovo číslo	Fo	-	0,67
Tepelný odpor na vnější straně	R_{se}	m ² ·K/W	0,04
Součinitel přestupu tepla na vnější straně	α_{se}	W/(m ² ·K)	25
Biotovo číslo	Bi	-	11,58
Převrácená hodnota Biotova čísla	Bi^{-1}	-	0,09
Bezrozměrná teplota	θ^*	-	0,30
Vnější teplota místnosti	θ_{out}	°C	2,4
Vnitřní teplota místnosti	$\theta_{int,i}$	°C	22
Součinitel prostupu tepla	U_k	W/m ² ·K	1,12
Měrný tepelný tok ohřátou stavební částí	q_k	W/m ²	22,01
Tepelný odpor na vnitřní straně	R_{si}	m ² ·K/W	0,13
Teplota na vnitřním povrchu ohřáté stěny	$T_{1,k}$	°C	19,14
Teplota na vnitřním povrchu v době útlumu	$T_{0,k}$	°C	7,42

Koupelna a WC (č. m. 103) má 4 typy konstrukcí stěn, které oddělují vnitřní prostor od venkovního. Teploty na vnitřních površích zbylých 3 konstrukcí se stanoví stejným způsobem.

Tab. 24 Průměrné teploty na površích a plochy konstrukcí stěn v koupelně a WC (č. m. 103)

Vnitřní teplota v době útlumu			
2.2	Podlaha, dlažba vnější		
Teplota na vnitřním povrchu v době útlumu	$T_{0,k}$	°C	4,84
Plocha stěny konstrukce	S_k	m ²	3,75
3.1	Vnější stěna 1		
Teplota na vnitřním povrchu v době útlumu	$T_{0,k}$	°C	7,42
Plocha stěny konstrukce	S_k	m ²	2,58
3.2	Vnější stěna 2		
Teplota na vnitřním povrchu v době útlumu	$T_{0,k}$	°C	6,01
Plocha stěny konstrukce	S_k	m ²	5,81
8	Strop nad verandou a koupelnou		
Teplota na vnitřním povrchu v době útlumu	$T_{0,k}$	°C	6,75
Plocha stěny konstrukce	S_k	m ²	3,75
Teplota v místnosti v době útlumu	$T_{0,k}$	°C	6

Výpočet průměrné teploty v místnosti v době útlumu:

$$T_{0,i} = \frac{\sum T_{0,k} \cdot S_k}{\sum S_k} = \frac{4,84 \cdot 3,75 + 7,42 \cdot 2,58 + 6,01 \cdot 5,81 + 6,75 \cdot 3,75}{3,75 + 2,58 + 5,81 + 3,75} \cong 6 \text{ °C}$$

Teplota v koupelně a WC (č. m. 103) bude přibližně 6 °C.

Tab. 25 Přehled průměrných teplot ve vytápěných místnostech v době útlumu

Kód	Název místnosti	Teplota v místnosti v době útlumu	
		$T_{0,k}$	°C
103	Koupelna + WC	6	°C
105	Kuchyně	5	°C
106	Chodba	5	°C
107	Obývací pokoj	6	°C
108	Pokoj	6	°C
109	Ložnice	6	°C
110	Schodiště II	5	°C

Z tab. 25 je patrné, že teplota uvnitř vytápěných místností poklesne za dobu útlumu zhruba o 80 %. Za předpokladu, že teplota uvnitř nevytápěných místností poklesne za dobu útlumu stejným způsobem, bude teplota v nevytápěných místnostech na konci doby útlumu přibližně 4 °C. Jediný rozdíl bude u spíže (č. m. 104), kde je teplota nevytápěné místnosti výrazně vyšší než u ostatních nevytápěných místností. Teplota ve spíži v době útlumu bude mít hodnotu 4,5 °C.

Výpočet potřeby tepla na ohřátí stěn pro místnost koupelna a WC (č. m. 103)

Tab. 26 Výpočet potřeby tepla na ohřátí stěny mezi koupelnou a WC (č. m. 103) a zádveřím (č. m. 102)

Teplotní údaje			
Prostředí na venkovní straně	Nevytápěná místnost (102)		
Teplota na venkovní straně	θ_{out}	°C	8
Vnitřní výpočtová teplota	$\theta_{int,i}$	°C	22
Teplota na venkovní straně v době útlumu	$\theta_{s,e}$	°C	4
Vnitřní výpočtová teplota v době útlumu	$\theta_{s,i}$	°C	6
Potřeba tepla na ohřátí stavební části 5			
Měrný tepelný tok ohřátou stěnou	q_k	W/m ²	17,80
Měrný tepelný tok studenou stěnou	$q_{s,k}$	W/m ²	2,54
Omítka vápenocementová 1			
Teplota na vnitřní stěně	T_j	°C	19,69
Teplota mezi omítkou 1 a pórobetonem	T_{j+1}	°C	19,24
Střední teplota ohřáté vrstvy	$T_{m,j}$	°C	19,46
Teplota na vnitřní stěně v době útlumu	$T_{s,j}$	°C	5,67
Teplota mezi omítkou 1 a pórobetonem v době útlumu	$T_{s,j+1}$	°C	5,61
Střední teplota studené vrstvy	$T_{ms,j}$	°C	5,64
Teplotní rozdíl vrstvy stěny	$\Delta T_{ak,j}$	°C	13,82
Hmotnost vrstvy	m_j	kg	193,50
Potřeba tepla na ohřátí vrstvy	$Q_{ak,j}$	J	2113271
Pórobeton			
Teplota mezi omítkou 1 a pórobetonem	T_j	°C	19,24
Teplota mezi pórobetonem a omítkou 2	T_{j+1}	°C	10,76
Střední teplota vrstvy	$T_{m,j}$	°C	15,00
Teplota mezi omítkou 1 a pórobetonem v době útlumu	$T_{s,j}$	°C	5,61
Teplota mezi pórobetonem a omítkou 2 v době útlumu	$T_{s,j+1}$	°C	4,39
Střední teplota studené vrstvy	$T_{ms,j}$	°C	5,00
Teplotní rozdíl vrstvy stěny	$\Delta T_{ak,j}$	°C	10,00
Hmotnost vrstvy	m_j	kg	224,46
Potřeba tepla na ohřátí vrstvy	$Q_{ak,j}$	J	1885464
Omítka vápenocementová 2			
Teplota mezi pórobetonem a omítkou 2	T_j	°C	10,76
Teplota na venkovní stěně	T_{j+1}	°C	10,31
Střední teplota ohřáté vrstvy	$T_{m,j}$	°C	10,54
Teplota mezi pórobetonem a omítkou 2 v době útlumu	$T_{s,j}$	°C	4,39
Teplota na venkovní stěně v době útlumu	$T_{s,j+1}$	°C	4,33
Střední teplota studené vrstvy	$T_{ms,j}$	°C	4,36

Teplotní rozdíl vrstvy stěny	$\Delta T_{ak,j}$	°C	6,18
Hmotnost vrstvy	m_j	kg	193,50
Potřeba tepla na ohřátí vrstvy	$Q_{ak,j}$	J	944029
Teplo potřebné k ohřátí stěny 5	$Q_{ak,k}$	J	4942764

Celková potřeba tepla k jednomu ohřátí stěn:

$$Q_{a1} = \sum Q_{ak,k} = 340,4 \text{ MJ}$$

Celková potřeba tepla k ohřátí stěn za jedno otopné období **při víkendovém provozu**:

$$Q_a = Q_{a1} \cdot n = 340,4 \cdot 10^6 \cdot 36 = \mathbf{12,25 \text{ GJ}}$$

Při víkendovém provozu činí potřeba tepla na ohřátí stěn **12,25 GJ**.

5.3.2 Potřeba tepla na ohřátí stěn při provozu každý druhý víkend nebo jednou za měsíc

V provozu každý druhý víkend nebo jeden víkend v měsíci se, na rozdíl od víkendového provozu, předpokládá, že během doby útlumu poklesne teplota stěn v celém průřezu na teplotu venkovního vzduchu.

Výpočet celkové potřeby tepla k ohřátí stěn za jedno otopné období

$$Q_a = Q_{a1} \cdot n \quad (5.9)$$

kde Q_{ad} [J] celková potřeba tepla k ohřátí stěn za jedno otopné období při provozu každý druhý víkend
 Q_{a1} [J] celková potřeba tepla k jednomu ohřátí stěn
 n [-] počet návštěv v otopném období

Počet návštěv vyjadřuje, kolikrát bude nutné objekt vytopit v jednom otopném období. Při provozu každý druhý týden je navštíven 18× a jednou za měsíc 8×.

Výpočet celkové potřeby k jednomu ohřátí stěn

$$Q_{a1} = \sum Q_{ak,k} \quad (5.10)$$

kde Q_{a1} [J] celková potřeba tepla k jednomu ohřátí stěn
 $Q_{ak,k}$ [J] potřeba tepla k ohřátí stěny k -té konstrukce

Jelikož stěna není pouze z jednoho druhu materiálu, je třeba počítat jednotlivé vrstvy konstrukce stěny zvlášť.

Výpočet potřeby tepla k ohřátí celé stěny

$$Q_{ak,k} = \sum Q_{a,j} \quad (5.11)$$

kde $Q_{ak,k}$ [J] potřeba tepla k ohřátí stěny k -té konstrukce
 $Q_{a,j}$ [J] potřeba tepla k ohřátí j -té vrstvy konstrukce stěny

Výpočet potřeby tepla k ohřátí vrstvy stěny

$$Q_{a,j} = m_j \cdot c_j \cdot \Delta T_{ak,j} \quad (5.12)$$

kde	$Q_{a,j}$	[J]	potřeba tepla k ohřátí j -té vrstvy konstrukce stěny
	m_j	[kg]	hmotnost j -té vrstvy stěny
	c_j	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita j -té vrstvy stěny
	$\Delta T_{ak,j}$	[°C]	teplotní rozdíl j -té vrstvy stěny

Teplotní rozdíl vrstvy stěny (ΔT_j) je rozdíl mezi střední teplotou ohřáté vrstvy stěny vytopené místnosti a teplotou vrstvy stěny v době útlumu vytápění.

Výpočet teplotního rozdílu vrstvy stěny

$$\Delta T_{ak,j} = T_{m,j} - \theta_0 \quad (5.13)$$

kde	$\Delta T_{ak,j}$	[°C]	teplotní rozdíl j -té vrstvy stěny
	$T_{m,j}$	[°C]	střední teplota ohřáté j -té vrstvy materiálu stěny
	θ_0	[°C]	teplota stěny v době útlumu

Pro výpočet střední teploty jednotlivých ohřátých vrstev se uvažuje lineární pokles teplot v dané vrstvě.

Během doby útlumu poklesne teplota uvnitř všech místností na teplotu venkovního vzduchu. Teploty stěn během útlumu (θ_0) klesnou na teplotu venkovního vzduchu a budou v celém průřezu konstantní. Jelikož se počítá potřeba tepla za celé otopné období, lze jednotlivé hodnoty teplot venkovního vzduchu nahradit jejich průměrnou hodnotou za celé otopné období ($\theta_{m,e}$), která má hodnotu 2,4 °C.

Výpočet střední teploty vrstvy stěny

$$T_{m,j} = \frac{T_j + T_{j+1}}{2} \quad (5.14)$$

kde	$T_{m,j}$	[°C]	střední teplota ohřáté j -té vrstvy materiálu stěny
	T_j	[°C]	teplota na povrchu ohřáté j -té vrstvy stěny
	T_{j+1}	[°C]	teplota na povrchu z druhé strany j -té ohřáté vrstvy stěny

Výpočet jednotlivých teplot na povrchu ohřáté vrstvy stěny

$$T_j = \theta_{int,i} - \dot{q}_k \cdot R_{ij} \quad (5.15)$$

kde	T_j	[°C]	teplota na povrchu ohřáté j -té vrstvy stěny
	$\theta_{int,i}$	[°C]	výpočtová vnitřní teplota vytápěné místnosti
	\dot{q}_k	[W·m ⁻²]	měrný tepelný tok ohřátou stěnou
	R_{ij}	[m ² ·K·W ⁻¹]	tepelný odpor mezi vnitřním prostředím vytápěné místnosti a místem, ke kterému je vztažena teplota T_j

Výpočet měrného tepelného toku stěnou

$$\dot{q}_k = U_k \cdot (\theta_{\text{int},i} - \theta_{\text{out}}) \quad (5.16)$$

kde	\dot{q}_k	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$	měrný tepelný tok ohřátou stěnou k -té konstrukce
	U_k	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$	součinitel prostupu tepla k -té stavební části
	$\theta_{\text{int},i}$	$[\text{°C}]$	výpočtová vnitřní teplota i -té vytápěné místnosti
	θ_{out}	$[\text{°C}]$	teplota na venkovní straně

Teplota na venkovní straně (θ_j) vyjadřuje teplotu prostředí na druhé straně stěny. Pokud bude stěna oddělovat vytápěný prostor od venkovního prostředí, bude teplota na venkovní straně (θ_j) rovna průměrné teplotě v otopném období ($\theta_{\text{m},e}$). Pokud bude stěna oddělovat dvě vytápěné místnosti, bude teplota na venkovní straně (θ_j) rovna vnitřní výpočtové teplotě druhé místnosti. Pokud bude stěna oddělovat vytápěnou místnost od nevytápěné místnosti, bude venkovní teplota (θ_j) rovna teplotě nevytápěné místnosti po ohřátí stěn ($\theta_{\text{h},ie}$) – viz dále.

Výpočet hmotnosti vrstvy stěny

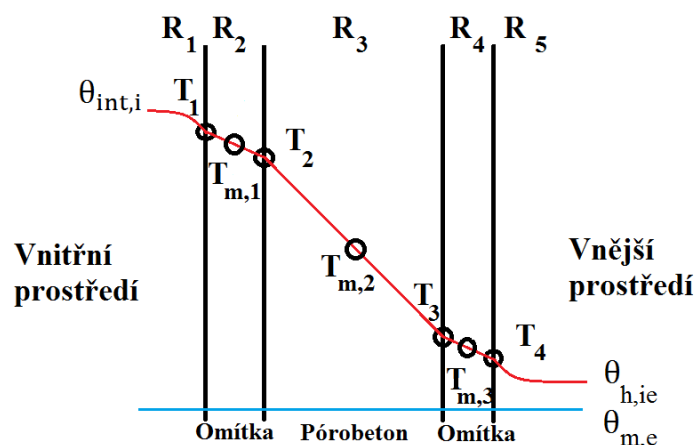
$$m_j = \rho_j \cdot V_j \quad (5.17)$$

kde	m_j	$[\text{kg}]$	hmotnost j -té vrstvy stěny
	ρ_j	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	hustota j -té vrstvy stěny
	V_j	$[\text{m}^3]$	objem j -té vrstvy stěny

Teplo potřebné k ohřátí oken a dveří je, vzhledem k malým rozměrům, oproti teplu potřebnému k ohřátí zdi zanedbatelné, proto je ve výpočtu zanedbáno.

Vzorový výpočet ohřátí pórobetonové vnitřní stěny (konstrukce 5) mezi koupelnou a WC (č. m. 103) a zádveřím (č. m. 102)

Průměrná teplota v otopném období v místnosti zádveří ($\theta_{\text{h},ie}$) má hodnotu 8 °C (viz kap. 5.3.1).



Obr. 11 Tepelný tok pórobetonovou vnitřní stěnou (č. k. 5) z koupelny a WC do zádveří

Tepelný tok stěnou:

$$\dot{q}_k = U_k \cdot (\theta_{\text{int},i} - \theta_{\text{out}}) = 1,27 \cdot (22 - 8) = 17,8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Venkovní teplota (θ_{out}) rovna teplotě v zádveří, která má hodnotu 8 °C.

Teplota na vnitřním povrchu stěny:

$$T_j = \theta_{\text{int},i} - \dot{q}_k \cdot R_{ij} = 22 - 17,8 \cdot 0,13 = 19,69 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tepelný odpor R_{ij} je odpor při přestupu tepla u vodorovného toku.

Teplota mezi omítkou a pórobetonem:

$$T_{j+1} = \theta_{\text{int},i} - \dot{q}_k \cdot R_{ij} = 22 - 17,8 \cdot 0,155 = 19,24 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tepelný odpor R_{ij} vyjadřuje součet odporu při přestupu tepla u vodorovného toku a tepelného odporu omítky.

$$R_{ij+1} = R_{ij} + \frac{d_{j+1}}{\lambda_{j+1}} = 0,13 + \frac{0,025}{0,99} = 0,155 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Kde d_{j+1} vyjadřuje tloušťku vrstvy omítky a λ_{j+1} její součinitel tepelné vodivosti.

Střední teplota nahřáté vrstvy:

$$T_{m,j} = \frac{T_j + T_{j+1}}{2} = \frac{19,69 + 19,24}{2} = 19,46 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Hmotnost vrstvy:

$$m_j = \rho_j \cdot V_j = 2000 \cdot 0,097 = 193,5 \text{ kg}$$

Tato vrstva stěny má plochu (S_k) rovnou $3,87 \text{ m}^2$ a tloušťku (d_j) rovnou $0,025 \text{ m}$. Objem (V_j) vznikne vynásobením těchto dvou hodnot. Hustota (ρ_j) vyjadřuje hustotu materiálu stěny (vápenocementové omítky).

Potřeba tepla k ohřátí vrstvy [4]:

$$Q_{a,j} = m_j \cdot c_j \cdot \Delta T_{ak,j} = 193,5 \cdot 790 \cdot 17,06 = 2,61 \text{ MJ}$$

Tepelný rozdíl ($\Delta T_{ak,j}$) vyjadřuje rozdíl mezi teplotou ohřáté stěny a původní teplotou stěny:

$$\Delta T_{ak,j} = T_{m,j} - \theta_0 = 19,46 - 2,4 = 17,06 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Stejným způsobem byly stanoveny hodnoty pro další dvě vrstvy. Potřeba tepla k ohřátí vrstvy pórobetonu ($Q_{a,2}$) je rovna $2,38 \text{ MJ}$ a potřeba tepla k ohřátí venkovní vrstvy omítky ($Q_{a,3}$) je rovna $1,24 \text{ MJ}$.

Potřeba tepla k ohřátí stěny konstrukce 5:

$$Q_{ak,k} = \sum Q_{a,j} = (2,61 + 2,38 + 1,24) \cdot 10^6 = 6,23 \text{ MJ}$$

Tab. 27 Výpočet potřeby tepla na ohřátí stěny (č. k. 5) mezi koupelnou a WC (č. m. 103) a zádveřím (č. m. 102)

Teplotní údaje			
Teplota stěny v době útlumu	θ_0	$^\circ\text{C}$	2,4
Prostředí na venkovní straně	Nevytápěná místnost (102)		
Teplota na venkovní straně	θ_{out}	$^\circ\text{C}$	8
Vnitřní výpočtová teplota	$\theta_{\text{int},i}$	$^\circ\text{C}$	22
Teplotní rozdíl	$\theta_{\text{int},i} - \theta_{\text{out}}$	$^\circ\text{C}$	14
Potřeba tepla na ohřátí stavební části 5			

Měrný tepelný tok stavební částí	q_k	W/m ²	17,80
Omítka vápenocementová 1			
Teplota na vnitřní stěně	T_j	°C	19,69
Teplota mezi omítkou 1 a pórobetonem	T_{j+1}	°C	19,24
Střední teplota vrstvy	$T_{m,j}$	°C	19,46
Teplotní rozdíl vrstvy stěny	ΔT_j	°C	17,06
Hmotnost vrstvy	m_j	kg	193,50
Potřeba tepla na ohřátí vrstvy	$Q_{a,j}$	J	2608157
Pórobeton			
Teplota mezi omítkou 1 a pórobetonem	T_j	°C	19,24
Teplota mezi pórobetonem a omítkou 2	T_{j+1}	°C	10,76
Střední teplota vrstvy	$T_{m,j}$	°C	15,00
Teplotní rozdíl vrstvy stěny	ΔT_j	°C	12,60
Hmotnost vrstvy	m_j	kg	224,46
Potřeba tepla na ohřátí vrstvy	$Q_{a,j}$	J	2375685
Omítka vápenocementová 2			
Teplota mezi pórobetonem a omítkou 2	T_j	°C	10,76
Teplota na venkovní stěně	T_{j+1}	°C	10,31
Střední teplota vrstvy	$T_{m,j}$	°C	10,54
Teplotní rozdíl vrstvy stěny	ΔT_j	°C	8,14
Hmotnost vrstvy	m_j	kg	193,50
Potřeba tepla na ohřátí vrstvy	$Q_{a,j}$	J	1244041
Teplo potřebné k ohřátí stěny 5	$Q_{ak,k}$	J	6227883

Celková potřeba tepla na jedno ohřátí stěn:

Celková potřeba tepla na jedno ohřátí stěn se rovná součtu potřeb tepla, potřebných u ohřátí jednotlivých stěn.

$$Q_{a1} = \sum Q_{ak,k} = 428,8 \text{ MJ}$$

Celková potřeba tepla k ohřátí stěn za jedno otopné období **při provozu každý druhý víkend:**

$$Q_{ad} = Q_{a1} \cdot n = 428,8 \cdot 10^6 \cdot 18 = 7,7 \cdot 10^9 \text{ J} = \mathbf{7,7 \text{ GJ}}$$

Za jedno otopné období bude potřeba tepla na ohřátí stěn při provozu každý druhý víkend 7,7 GJ.

Celková potřeba tepla k ohřátí stěn za jedno otopné období **při provozu jeden víkend v měsíci:**

$$Q_a = Q_{a1} \cdot n = 428,8 \cdot 10^6 \cdot 8 = 3,4 \cdot 10^9 \text{ J} = \mathbf{3,4 \text{ GJ}}$$

Za jedno otopné období bude potřeba tepla na ohřátí stěn při provozu jeden víkend v měsíci 3,4 GJ.

5.4 Celková potřeba tepla na vytápění

Celková potřeba tepla se skládá z potřeby tepla na vytápění a větrání a potřeby tepla na ohřátí stěn. Výpočet je proveden dle denostupňové metody [10].

$$Q_{\text{vyt}} = \left(\frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \right) \cdot (Q_p + Q_a) \quad (5.18)$$

kde	Q_{vyt}	[J]	celková potřeba tepla na vytápění
	Q_p	[J]	celková potřeba tepla na pokrytí ztrát prostupem a větráním v otopném období
	Q_a	[J]	celková potřeba tepla k ohřátí stěn
	ε	[-]	opravný součinitel
	η_o	[-]	účinnost obsluhy
	η_r	[-]	účinnost rozvodů

Opravný součinitel (ε) má pro občasné vytápěné budovy hodnotu 0,6. Zahrnuje v sobě nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací a prostupem, snížení teploty během dne resp. v noci a zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu [11].

Účinnost obsluhy (η_o) se volí mezi 0,9 a 1,0. Účinnost rozvodů (η_r) se volí mezi 0,95 a 0,98. Pro výpočet byly zvoleny obě hodnoty účinností 0,95 [11].

Pro víkendový provoz platí:

$$Q_{\text{vyt}} = \left(\frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \right) \cdot (Q_p + Q_a) = \left(\frac{0,6}{0,95 \cdot 0,95} \right) \cdot (32,1 \cdot 10^9 + 12,25 \cdot 10^9) = \mathbf{29,5 \text{ GJ}}$$

Tab. 28 Potřeba tepla na vytápění

	Potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát	Potřeba tepla na ohřátí stěn	Potřeba tepla na vytápění
	Q_p	Q_a	Q_{vyt}
	GJ	GJ	GJ
Víkendový provoz	32,10	12,25	29,5
Provoz každý druhý víkend	16,05	7,7	15,8
Provoz jednou za měsíc	7,13	3,9	7,3

5.5 Potřeba tepla k ohřevu teplé vody

Teplá voda se používá v rekreačních objektech především k mytí osob, nádobí a k úklidu. Jelikož je rekreační objekt navštěvován pravidelně jednou za týden a pobyt je plánovaný na víkend, lze stanovit jeden týden jakožto časovou periodu, se kterou se bude průběh odběru teplé vody opakovat [12]. Ohřívače teplé vody lze rozdělit především na zásobníkové a průtokové.

Zásobníkové ohřívače vody [13]

Tyto ohřívače vody mají zásobník, ve kterém probíhá příprava teplé vody. Ohřev je zprostředkován měděným nebo ocelovým topným tělesem, umístěným uvnitř zásobníku. V blízkosti topného tělesa bývá umístěna antikorozi anoda, která je vodivě spojena s pláštěm zásobníku a upravuje uvnitř elektrický potenciál, čímž snižuje riziko prorozavění. Aby byly tepelné ztráty co nejnižší, je celý zásobník tepelně izolovaný. Pro rekreační budovy je třeba vybrat takový zásobník TV, který má přípojky vody ve spodní části z důvodu vypouštění.

Výhodou je, že pro ohřátí zásobníku lze použít zvýhodněný tarif elektřiny, čímž lze snížit náklady na ohřev. Další výhodou je i jednodušší údržba, která se týká především topného tělesa. Nevýhodou mohou být vyšší tepelné ztráty.



Obr. 12 Zásobníkový ohřivač TV od firmy Ariston [14]

Průtokové ohřivače vody [13]

Průtočné ohřivače jsou napojeny na vodovodní okruh a jsou schopny zásobovat více odběrných míst. Ohřev teplé vody je zprostředkován při průtoku přes topnou spirálu. Tepelné ztráty jsou minimální, jelikož dojde k ohřívání vody až po otevření baterie.

Výhodou tohoto systému jsou okamžitá dostupnost teplé vody, jejíž množství není omezeno zásobníkem TV, a menší rozměry. Nevýhodou mohou být vyšší náklady na ohřev teplé vody v důsledku nemožnosti uplatnit zvýhodněný tarif elektřiny. Další nevýhodou může být vypouštění, protože některé konstrukce průtokových ohřivačů toto neumožňují.



Obr. 13 Průtokový ohřivač TV od firmy Eliz [15]

Výběr způsobu ohřevu teplé vody

Pro řešení rekreační domek se jeví zásobníkový ohřivač jako nejlepší, zejména proto, že zásobníkové ohřivače vody jsou vhodnější pro časté vypouštění nebo temperování. To je důležité především u víkendového provozu, kdy se ve všedních dnech objekt nevytápí, a hrozí tak riziko zamrznutí vody v systému. Pokud by voda uvnitř vodovodního systému zamrzla, mohlo by dojít k popraskání vodovodního systému objektu nebo samotného zásobníku TV. Ochránit zásobník TV a rozvody vody v objektu lze řešit dvěma způsoby. Prvním z nich je temperování rozvodů TV a s tím spojené temperování zásobníku. S tímto řešením jsou však

spojeny i vyšší náklady za energie. Variantně lze ochránit vodovodní systém před zamrznutím jeho vypuštěním. Pokud se však bude systém každý týden (v zimních měsících) vypouštět, může to mít negativní vliv na životnost zásobníku TV a to především kvůli korozi. Použití akumulčního zásobníku na TV má v tomto případě další výhodu v tom, že místa odběru jsou poměrně blízko u sebe. Nacházejí se pouze v koupelně a WC (č. m. 103) a v kuchyni (č. m. 105).

Výpočet celkové potřeby tepla na ohřev TV za jedno otopné období při víkendovém provozu

$$Q_{tv} = Q_{2p} \cdot n \quad (5.19)$$

kde	Q_{tv}	[kWh]	celková potřeba tepla na ohřátí TV
	Q_{2p}	[kWh·per. ⁻¹]	celková potřeba tepla ohříváče TV za jednu periodu
	n	[-]	počet návštěv v otopném období

Výpočet potřeby tepla ohříváče TV za jednu periodu [12]

$$Q_{2p} = \frac{(1 + z) \cdot V_{2p} \cdot \rho_v \cdot c_v \cdot (t_2 - t_1)}{3600 \cdot 1000} \quad (5.20)$$

kde	Q_{2p}	[kWh·per. ⁻¹]	teplo odebrané z ohříváče TV za jednu periodu
	z	[-]	poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci
	V_{2p}	[m ³ ·per. ⁻¹]	celková potřeba teplé vody za jednu periodu
	ρ_v	[kg·m ⁻³]	hustota vody při střední teplotě zásobníku
	c_v	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita vody při střední teplotě zásobníku
	t_1	[°C]	teplota studené vody
	t_2	[°C]	teplota teplé vody

Poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci (z) má pro standardně navržené tloušťky rozvodů TV hodnotu 0,3. Pro výpočet potřeby tepla ohříváče se uvažuje teplota studené vody (t_1) 10 °C a teplota teplé vody (t_2) 55 °C. Z toho vyplývá, že střední teplota zásobníku bude 32,5 °C.

Výpočet celkové potřeby teplé vody za jednu periodu

$$V_{2p} = V_o + V_n + V_u \quad (5.21)$$

kde	V_{2p}	[m ³ ·per. ⁻¹]	celková potřeba teplé vody za jednu periodu
	V_o	[m ³ ·per. ⁻¹]	potřeba teplé vody pro mytí osob
	V_n	[m ³ ·per. ⁻¹]	potřeba teplé vody na mytí nádobí
	V_u	[m ³ ·per. ⁻¹]	potřeba teplé vody pro úklid a mytí podlah

Výpočet potřeby teplé vody pro mytí osob

$$V_o = n_1 \cdot \sum_{a=1}^n V_{da} \quad (5.22)$$

kde	V_o	[m ³ ·per. ⁻¹]	potřeba teplé vody pro mytí osob
	n_1	[-]	počet uživatelů
	V_{da}	[m ³]	objem a -té jedné dávky

Výpočet potřeby teplé vody na mytí nádobí

$$V_n = n_j \cdot V_d \quad (5.23)$$

kde V_n $[\text{m}^3 \cdot \text{per.}^{-1}]$ potřeba teplé vody na mytí nádobí
 n_j $[-]$ počet jídel
 V_d $[\text{m}^3]$ objem jedné dávky

Výpočet potřeby teplé vody pro úklid a mytí podlah

$$V_u = n_u \cdot V_d \quad (5.24)$$

kde V_u $[\text{m}^3 \cdot \text{per.}^{-1}]$ potřeba teplé vody pro úklid a mytí podlah
 n_u $[-]$ počet (výměra) ploch
 V_d $[\text{m}^3]$ objem jedné dávky

Tab. 29 Potřeba TV o teplotě 55 °C [12]

Činnost	Objem dávky
	m^3
Mytí rukou	0,002
Sprcha	0,025
Vana	0,04
Vaření a výdej jídel (na 1 jídlo)	0,002
Úklid a mytí podlah (na 100 m^2)	0,02

Příklad výpočtu potřeby tepla ohřívače TV za jednu periodu

Výpočet je vztažen na jednu periodu. Při víkendovém provozu je perioda jeden týden, u provozu každý druhý víkend bude perioda dva týdny a při provozu jeden víkend v měsíci je měsíc.

Potřeba tepla pro mytí osob:

V jedné periodě se u jedné osoby předpokládá čtyřikrát mytí rukou a jedna sprcha. Přestože je objekt vybaven vanou, bude kvůli nižší spotřebě tepla a teplé vody ekonomičtější se v ní pouze osprchovat, než ji celou napouštět. Dalším předpokladem je, že rekreační domek je navštěvován dvěma osobami.

$$V_o = n_1 \cdot \sum_{a=1}^n V_{da} = 2 \cdot (4 \cdot 0,002 + 1 \cdot 0,025) = 0,066 \frac{\text{m}^3}{\text{per.}}$$

Potřeba tepla na mytí nádobí:

Zde je zaveden předpoklad, že se za jednu periodu uvaří 8 jídel.

$$V_n = n_j \cdot V_d = 8 \cdot 0,002 = 0,016 \frac{\text{m}^3}{\text{per.}}$$

Potřeba tepla pro úklid a mytí podlah:

Za předpokladu, že se bude provádět mytí podlah a úklid především v přízemí, bude plocha pro mytí odpovídat 53,5 m². Vzhledem k tomu, že objem dávky je vztažen na 100 m², bude se tato hodnota násobit 0,535.

$$V_u = n_u \cdot V_d = 0,535 \cdot 0,02 = 0,01 \frac{\text{m}^3}{\text{per.}}$$

Celková potřeba teplé vody za jednu periodu:

$$V_{2p} = V_o + V_n + V_u = 0,066 + 0,016 + 0,01 = 0,092 \frac{\text{m}^3}{\text{per.}}$$

Potřeba tepla ohříváče TV za jednu periodu [4]:

$$Q_{2p} = \frac{(1 + z) \cdot V_{2p} \cdot \rho_v \cdot c_v \cdot (t_2 - t_1)}{3600 \cdot 1000} = \\ = \frac{(1 + 0,3) \cdot 0,092 \cdot 954,96 \cdot 4176 \cdot (55 - 10)}{3600 \cdot 1000} = 5,96 \frac{\text{kWh}}{\text{per.}}$$

Ohřev teplé vody za jednu návštěvu rekreačního objektu spotřebuje 5,96 kWh.

Celková potřeba tepla na ohřev TV za jedno otopné období **při víkendovém provozu:**

$$Q_{tv} = Q_{2p} \cdot n = 5,96 \cdot 36 = 214,6 \text{ kWh}$$

Za jedno otopné období se při víkendovém provozu spotřebuje 214,6 kWh tepla na ohřev teplé vody.

Celková potřeba tepla na ohřev TV za jedno otopné období **při provozu každý druhý víkend:**

$$Q_{tv} = Q_{2p} \cdot n = 5,96 \cdot 18 = 107,3 \text{ kWh}$$

Za jedno otopné období se při provozu každý druhý víkend spotřebuje 107,3 kWh tepla na ohřev teplé vody.

Celková potřeba tepla na ohřev TV za jedno otopné období **při provozu jeden víkend v měsíci:**

$$Q_{tv} = Q_{2p} \cdot n = 5,96 \cdot 8 = 47,7 \text{ kWh}$$

Za jedno otopné období se při provozu jeden víkend v měsíci spotřebuje 47,7 kWh tepla na ohřev teplé vody.

5.6 Roční potřeba tepla při provozu bez temperování

Výpočet roční potřeby tepla

Roční potřeba tepla se skládá z potřeby tepla na vytápění a z potřeby tepla na ohřev teplé vody.

$$Q_r = Q_{vyt} + Q_{tv} \quad (5.25)$$

kde	Q_r	[J]	roční potřeba tepla
	Q_{vyt}	[J]	celková potřeba tepla na vytápění
	Q_{tv}	[J]	celková potřeba tepla k ohřevu teplé vody

Pro víkendový provoz platí:

$$Q_r = Q_{vyt} + Q_{tv} = \left(29,5 + \frac{214,6 \cdot 3,6}{1000} \right) \cdot 10^9 = 30,3 \cdot 10^9 \text{ J} = \mathbf{30,3 \text{ GJ}}$$

Tab. 30 Roční potřeba tepla při provozu bez temperování

Provoz	Potřeba tepla na vytápění	Potřeba tepla na ohřev teplé vody	Roční potřeba tepla
	Q_{vyt}	Q_{tv}	Q_r
	GJ	kJ	GJ
Víkendový provoz	29,5	0,8	30,3
Provoz každý druhý víkend	15,8	0,4	16,2
Provoz jednou za měsíc	7,3	0,2	7,5

6. Výpočet potřeby tepla při provozu s temperováním

Temperování [16], [17] představuje udržování nižší teploty než při běžném vytápění, avšak vyšší, než je zámrazná teplota. Pro rekreační objekty se obvykle volí teploty pohybující se od 5 °C do 15 °C. Problém u těchto budov je takový, že se v nich může teplota a vlhkost během doby útlumu výrazně měnit, což může mít za následek například vznik plísní nebo praskání vodních systémů. Při temperování se tyto problémy nevyskytují, neboť teplota nikdy nepoklesne na zámrazné teploty a při vytápění se zároveň snižuje vlhkost.

Temperování využívá též schopnost stěn akumulovat teplo, čímž se zkrátí doba, za kterou se stěna nahřeje, zmenší se potřeba energie na ohřátí stěn a v důsledku toho klesnou i náklady na vytápění. Na druhou stranu vzroste potřeba tepla na temperování a s ním spojenou ztrátu tepla prostupem do venkovního prostředí.

Níže uvedené výpočty jsou pouze vzorové, zbývající výpočty jsou uloženy na příloženém CD.

6.1 Potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát prostupem a větráním

Potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát (Q_p) nabývá stejných hodnot, jako v případě provozu bez využití temperování (viz kapitola 5.2).

Za jedno otopné období činí potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát budovy při víkendovém provozu **32,10 GJ**, při provozu každý druhý víkend **16,05 GJ** a při provozu jeden víkend v měsíci **7,13 GJ**.

6.2 Potřeba tepla na pokrytí ztrát prostupem při temperování

Vzhledem k tomu, že daný objekt není příliš dobře tepelně izolovaný a většina stěn má lehkou konstrukci, je potřeba energie na pokrytí tepelných ztrát větší než na ohřev stěn. Z tohoto důvodu byla pro temperování zvolena hodnota 5 °C, kdy nedojde k promrznutí vodních systémů a tepelné ztráty prostupem jsou nižší než při vyšších teplotách temperování. Jelikož v některých měsících otopného období nedochází k poklesu průměrné venkovní teploty pod 5 °C, je potřeba spočítat potřebu tepla na pokrytí ztrát prostupem pro jednotlivé měsíce v otopném období zvlášť.

Výpočet celkové potřeby tepla na pokrytí ztrát prostupem při temperování

$$Q_{t,p} = \sum \bar{\Phi}_{T,m} \cdot \tau_{temp,m} \quad (6.1)$$

kde	$Q_{t,p}$	[J]	celková potřeba tepla na pokrytí ztrát prostupem při temperování
	$\bar{\Phi}_{T,m}$	[W]	průměrná tepelná ztráta prostupem v m -tém měsíci
	$\tau_{temp,m}$	[s]	doba temperování v m -tém měsíci

Průměrnou tepelnou ztrátu prostupem v m -tém měsíci ($\bar{\Phi}_{T,m}$) lze stanovit stejným způsobem, jakým byla stanovena návrhová tepelná ztráta při výpočtu návrhového tepelného výkonu budovy (kap. 4.3.1). Rozdíly jsou ve výpočtové venkovní teplotě, která má hodnotu průměrné venkovní teploty v m -tém měsíci, a teplotě ve vytápěných místnostech, která má hodnotu 5 °C.

Odhad doby temperování

S temperováním se začíná, až klesne teplota v místnosti pod 5 °C, proto je nutné stanovit, za jak dlouho poklesne teplota v místnosti právě na tuto hodnotu.

$$\tau_{\text{temp},m} = M_m \cdot 24 \cdot 3600 - n_m \cdot (\bar{\tau}_{\text{chl},m} + h \cdot 3600) \quad (6.2)$$

kde	$\tau_{\text{temp},m}$ [s]	doba temperování v m -tém měsíci
	$\bar{\tau}_{\text{chl},m}$ [s]	průměrná doba jednoho zchladnutí stěn objektu na 5 °C v m -tém měsíci
	h [hod]	doba vytápění při jedné návštěvě
	M_m [-]	počet dní v m -tém měsíci
	n_m [s]	počet návštěv v m -tém měsíci

Výpočet průměrné doby zchladnutí stěn na teplotu temperování

$$\bar{\tau}_{\text{ch},m} = \frac{\sum \tau_{\text{chl},m,i} \cdot S_{\text{out},i}}{\sum S_{\text{out},i}} \quad (6.3)$$

kde	$\bar{\tau}_{\text{chl},m}$ [s]	průměrná doba jednoho zchladnutí stěn objektu na 5 °C v m -tém měsíci
	$\tau_{\text{chl},m,i}$ [s]	doba zchladnutí i -té vytápění místnosti v m -tém měsíci
	$S_{\text{out},i}$ [m ²]	plocha stěn, které spojují místnost s venkovním prostředím

Výpočet doby zchladnutí stěn ve vytápěné místnosti na teplotu temperování

$$\tau_{\text{ch},m,i} = \frac{\sum \tau_{\text{chl},m,k} \cdot S_k}{\sum S_k} \quad (6.4)$$

kde	$\tau_{\text{chl},m,i}$ [s]	doba zchladnutí stěn i -té vytápěné místnosti v m -tém měsíci
	$\tau_{\text{chl},m,k}$ [s]	doba zchladnutí stěn k -té konstrukce v m -tém měsíci
	S_k [m ²]	plocha stěn k -té konstrukce

Výpočet doby zchladnutí stěn na teplotu temperování

K odhadu doby chladnutí lze využít metody řešení nestacionárního vedení tepla. Stejně, jako v kapitole 4.3.3 (Odhad zátopového tepelného výkonu), lze předpokládat, že vnitřní teplota vytápěné místnosti v době útlumu bude mít podobnou hodnotu jako teplota na vnitřním povrchu stěny v době útlumu, protože vzduch má nízkou měrnou tepelnou kapacitu. Pro zjednodušení výpočtu není uvažován vliv chladnutí vnitřních stěn a vliv oken a dveří na vnitřní teplotu. Doba chladnutí lze stanovit z Fourierova čísla.

$$\tau_{\text{chl},m,k} = \frac{Fo \cdot L_c^2}{a} \quad (6.5)$$

kde	$\tau_{\text{chl},m,k}$ [s]	doba zchladnutí stěn k -té konstrukce v m -tém měsíci
	Fo [-]	Fourierovo číslo
	L_c [m]	charakteristický rozměr
	a [m ² ·s ⁻¹]	teplotní vodivost

Předpokládá se, že charakteristický rozměr (L_c) je roven její tloušťce, neboť k ochlazení stěny dochází pouze z jedné strany. Výpočet teplotní vodivosti a s ní spojené výpočty průměrné hustoty, měrné tepelné kapacity a průměrného součinitele tepelné vodivosti stěny jsou uvedeny v kapitole 4.3.3. Fourierovo číslo lze stanovit z Heislerova diagramu pro desku při znalosti Biotova čísla a bezrozměrné teploty. Výpočet Biotova čísla je též uveden v kapitole 4.3.3.

Výpočet bezrozměrné teploty

$$\theta^* = \frac{T_{\text{temp}} - \theta_{\text{out}}}{\theta_{\text{int},i} - \theta_{\text{out}}} \quad (6.6)$$

kde θ^* [°C] bezrozměrná teplota
 T_{temp} [°C] teplota temperování
 $\theta_{\text{int},i}$ [°C] vnitřní výpočtová teplota i -té vytápěné místnosti
 θ_{out} [°C] teplota na venkovní straně

Teplota na venkovní straně (θ_{out}) se rovná průměrné venkovní teplotě v daném měsíci.

Příklad výpočtu potřeby tepla na pokrytí ztrát prostupem při temperování

Tab. 31 Průměrné teploty pro Žďár nad Sázavou [18]

Měsíc	Průměrná teplota	Měsíc	Průměrná teplota
	°C		°C
leden	-3,2	červenec	16,2
únor	-1,7	srpen	15,9
březen	1,8	září	12,1
duben	6,6	říjen	7,4
květen	11,6	listopad	2,0
červen	14,6	prosinec	-1,8

Z tab. 31 vyplývá, že temperování má smysl od listopadu do března, kdy je průměrná venkovní teplota nižší, než teplota temperování (5 °C).

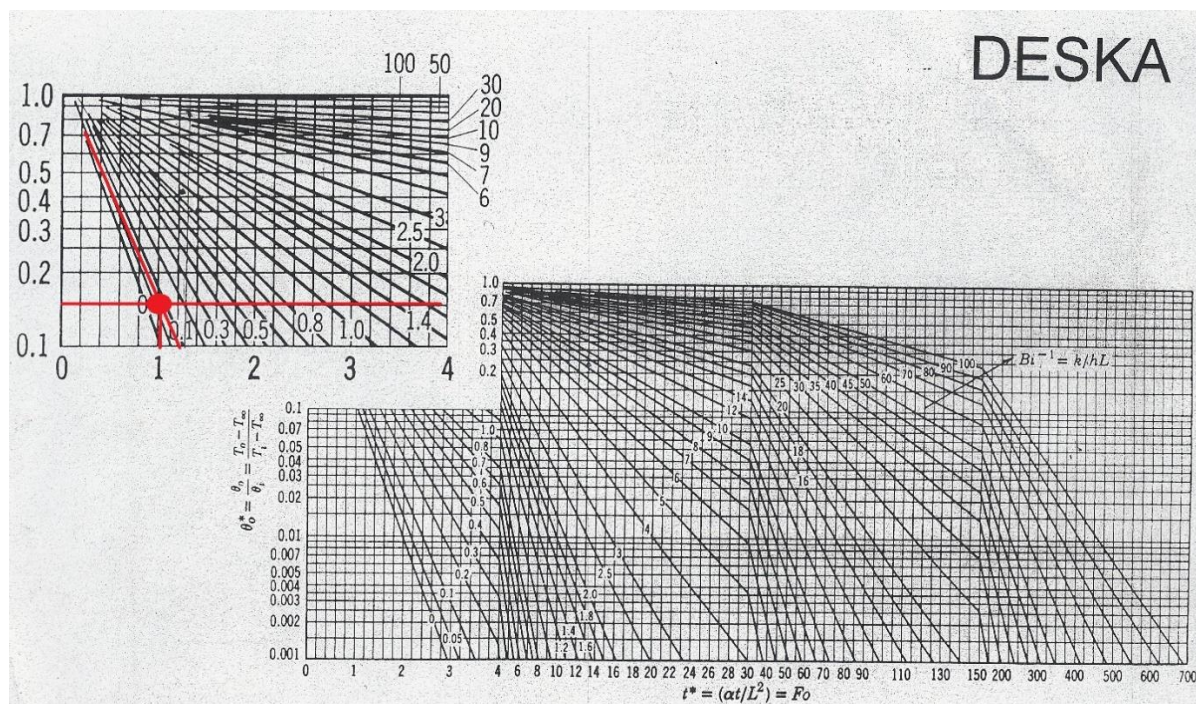
Doby zchladnutí vnější stěny 1 (č. k. 3.1) v místnosti koupelna a WC (č. m. 103) v listopadu: Biotovo číslo je stejné, jako v kapitole 4.3.3.

$$Bi = 11,57 \Rightarrow Bi^{-1} = 0,09$$

Bezrozměrná teplota:

$$\theta^* = \frac{T_{\text{temp}} - \theta_{\text{out}}}{\theta_{\text{int},i} - \theta_{\text{out}}} = \frac{5 - 2}{22 - 2} = 0,15$$

Stanovení Fourierova čísla:



Obr. 14 Stanovení Fourierova čísla v Heislerově diagramu [9]

Z obr. 14 vyplývá, že Fourierovo číslo je pro tento případ rovno 1.

Doba zchlazení stěny na teplotu temperování:

$$\tau_{chl,m,k} = \frac{Fo \cdot L_c^2}{a} = \frac{1 \cdot 0,32^2}{5,4 \cdot 10^{-7}} = 190\,739 \text{ s}$$

Odhad doby zchlazení stěny je 190 739 s, což odpovídá 2,2 dne.

Výpočet teplotní vodivosti (a) je uveden v kapitole 4.3.3.

Stejným způsobem se stanoví doby zchlazení stěny na teplotu temperování i u ostatních stěn, oddělující tuto místnost od venkovního prostředí.

Tab. 32 Doby zchlazení stěn na teplotu temperování v koupelně a WC (č. m. 103) v listopadu

Doby zchlazení stěn na teplotu temperování			
2.2	Podlaha, dlažba vnější		
Doba zchlazení	$T_{chl,m,k}$	s	89981
Plocha stěny konstrukce	S_k	m ²	3,75
3.1	Vnější stěna 1		
Doba zchlazení	$T_{chl,m,k}$	s	190739
Plocha stěny konstrukce	S_k	m ²	2,58
3.2	Vnější stěna 2		
Doba zchlazení	$T_{chl,m,k}$	s	113424
Plocha stěny konstrukce	S_k	m ²	5,81
8	Strop nad verandou a koupelnou		
Doba zchlazení	$T_{chl,m,k}$	s	132552
Plocha stěny konstrukce	S_k	m ²	3,75

Doba zchladnutí stěn ve vytápěné místnosti na teplotu temperování:

$$\tau_{ch,m,i} = \frac{\sum \tau_{chl,m,k} \cdot S_k}{\sum S_k} =$$

$$= \frac{89\,980,48 \cdot 3,75 + 190\,739 \cdot 2,58 + 113\,424 \cdot 5,81 + 132\,552 \cdot 3,75}{3,75 + 2,58 + 5,81 + 3,75} =$$

$$= 124\,959 \text{ s}$$

Stejným způsobem se stanoví i doby zchladnutí v ostatních místnostech. Doba zchladnutí stěn bude pro místnosti obývací pokoj (č. m. 107), pokoj (č. m. 108) a ložnici (č. m. 109) stejná, protože chladnou ze stejných teplot a jsou odděleny s venkovním prostředím stěnami se stejnou konstrukcí (3.1 a 3.2), které mají zároveň mezi sebou i stejný poměr ploch. Právě z důvodu, že v čitateli i ve jmenovateli vystupuje $\sum S_k$, nebude se nijak měnit celková hodnota doby zchladnutí.

Tab. 33 Doby zchladnutí ve vytápěných místnostech

Doby zchladnutí stěn na teplotu temperování				
103	Koupelna + WC			
Doba zchladnutí		$T_{chl,m,i}$	s	124959
Plocha stěn s venkovním prostředím		$S_{out,i}$	m ²	15,89
105	Kuchyně			
Doba zchladnutí		$T_{chl,m,i}$	s	118383
Plocha stěn s venkovním prostředím		$S_{out,i}$	m ²	3,47
106	Chodba			
Doba zchladnutí		$T_{chl,m,i}$	s	118383
Plocha stěn s venkovním prostředím		$S_{out,i}$	m ²	0,00
107	Obývací pokoj			
Doba zchladnutí		$T_{chl,m,i}$	s	131804
Plocha stěn s venkovním prostředím		$S_{out,i}$	m ²	16,34
108	Pokoj			
Doba zchladnutí		$T_{chl,m,i}$	s	131804
Plocha stěn s venkovním prostředím		$S_{out,i}$	m ²	14,31
109	Ložnice			
Doba zchladnutí		$T_{chl,m,i}$	s	131804
Plocha stěn s venkovním prostředím		$S_{out,i}$	m ²	9,75
110	Schodiště II			
Doba zchladnutí		$T_{chl,m,i}$	s	118383
Plocha stěn s venkovním prostředím		$S_{out,i}$	m ²	0,00

Průměrná doba zchladnutí stěn na teplotu temperování:

$$\bar{\tau}_{ch,m} = \frac{\sum \tau_{chl,m,i} \cdot S_{out,i}}{\sum S_{out,i}} =$$

$$= \frac{124\,959 \cdot 15,89 + 118\,383 \cdot 3,47 + 131\,804 \cdot (16,34 + 14,31 + 9,75)}{15,89 + 3,47 + 16,34 + 14,31 + 9,75} =$$

$$= 129\,204 \text{ s}$$

Doba temperování (listopad) **při víkendovém provozu:**

$$\tau_{temp,m} = M_m \cdot 24 \cdot 3600 - n_m \cdot (\bar{\tau}_{chl,m} + h \cdot 3600) =$$

$$= 30 \cdot 24 \cdot 3600 - 4 \cdot (129\,204 + 57 \cdot 3600) = 1\,254\,383 \text{ s}$$

Doba temperování (listopad) **při provozu každý druhý víkend:**

$$\tau_{temp,m} = M_m \cdot 24 \cdot 3600 - n_m \cdot (\bar{\tau}_{chl,m} + h \cdot 3600) =$$

$$= 30 \cdot 24 \cdot 3600 - 2 \cdot (129\,204 + 57 \cdot 3600) = 1\,923\,192 \text{ s}$$

Doba temperování (listopad) **při provozu jeden víkend v měsíci:**

$$\tau_{temp,m} = M_m \cdot 24 \cdot 3600 - n_m \cdot (\bar{\tau}_{chl,m} + h \cdot 3600) =$$

$$= 30 \cdot 24 \cdot 3600 - 1 \cdot (129\,204 + 57 \cdot 3600) = 2\,257\,596 \text{ s}$$

Stejným způsobem se stanoví doby temperování v ostatních měsících. Oproti listopadu budou rozdíly ve výpočtu v ostatních měsících, při kterých se temperuje, v počtu dní v jednotlivých měsících (M_M), ve venkovní teplotě (θ_{out}) a v počtu návštěv (n_m).

Tab. 34 Doby temperování v jednotlivých měsících při jednotlivých typech provozu

Měsíc	Provoz	Doba temperování
M_m	-	$\tau_{temp,m}$
-	-	s
listopad	Víkendový	1254383
listopad	Každý druhý víkend	1923192
listopad	Jeden víkend v měsíci	2257596
prosinec	Víkendový	1179819
prosinec	Každý druhý víkend	1779251
prosinec	Jeden víkend v měsíci	2378684
leden	Víkendový	1523783
leden	Každý druhý víkend	2101092
leden	Jeden víkend v měsíci	2389746
únor	Víkendový	1220335
únor	Každý druhý víkend	1819768
únor	Jeden víkend v měsíci	2119484
březen	Víkendový	1010300
březen	Každý druhý víkend	1677540
březen	Jeden víkend v měsíci	2344780

Průměrná tepelná ztráta prostupem:

Tab. 35 Tepelné ztráty prostupem při temperování v koupelně a WC (č. m. 103) v listopadu

Teplotní údaje						
Venkovní výpočtová teplota	θ_e	°C	2			
Vnitřní výpočtová teplota	$\theta_{int,i}$	°C	5			
Výpočtový rozdíl teplot	$\theta_{int,i}-\theta_e$	°C	3			
Tepelné ztráty prostupem						
Kód	Stavební část	f_k	A_k	U_k	$f_k \cdot A_k \cdot U_k$	
		-	m ²	W/m ² ·K	W/K	
2.2	Podlaha, dlažba-vnější	1,40	3,75	1,81	9,49	
3.1	Vnější stěna 1	1,40	2,58	1,12	4,06	
3.2	Vnější stěna 2	1,40	5,81	1,25	10,15	
5	Vnitřní stěna pórobeton	1,12	3,87	1,27	5,51	
5	Vnitřní stěna pórobeton	0,42	3,60	1,27	1,92	
6	Vnitřní stěna cihlová	1,12	1,26	2,10	2,96	
7	Vnitřní stěna cihlová širší	1,12	1,34	1,52	2,29	
8	Strop nad verandou a koupelnou	1,00	3,75	0,36	1,35	
22	Vnitřní dveře plné	1,12	1,17	2,00	2,62	
Tepelná ztráta prostupem		$\Phi_{T,i}=\sum f_k \cdot A_k \cdot U_k \cdot (\theta_{int,i}-\theta_e)$			W	121,041

Tab. 36 Tepelné ztráty prostupem v listopadu

Místnost		Celková tepelná ztráta prostupem	
		$\Phi_{T,i}$	
		W	
103	Koupelna + WC	121,0	
105	Kuchyně	39,7	
106	Chodba	37,8	
107	Obývací pokoj	188,5	
108	Pokoj	142,0	
109	Ložnice	141,6	
110	Schodiště II	22,9	
Průměrná tepelná ztráta prostupem $\Phi_{T,m}$		693,6	

Tab. 37 Průměrné tepelné ztráty v měsících, ve kterých se temperuje

Měsíc	Průměrné tepelné ztráty prostupem	
	$\Phi_{T,m}$	
	W	
listopad	693,6	
prosinec	1572,2	
leden	1895,9	
únor	1549,1	
březen	739,9	

Celková potřeba tepla na pokrytí ztrát prostupem při temperování při víkendovém provozu:

$$Q_{t,p} = \sum \bar{\Phi}_{T,m} \cdot \tau_{temp,m} =$$

$$= 693,6 \cdot 1\,254\,383 + 1572,2 \cdot 1\,179\,819 + 1895,9 \cdot 1\,523\,783 + 1549,1 \cdot 1\,220\,335 +$$

$$+ 939,9 \cdot 1\,010\,300 = \mathbf{8,25\,GJ}$$

Tab. 38 Potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát při temperování při různých typech provozu

Potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát při temperování		
Víkendový provoz	Provoz každý druhý víkend	Provoz jeden víkend v měsíci
$Q_{t,p}$	$Q_{t,p}$	$Q_{t,p}$
J	J	J
8251834863	12174938421	14854549341

Potřeba tepla na temperování činí při víkendovém provozu **8,25 GJ**, při provozu každý druhý víkend **12,17 GJ** a při provozu jeden víkend v měsíci **14,85 GJ**.

6.3 Potřeba tepla k ohřevu stěn

Jelikož ve víkendovém provozu nedojde pro průměrné hodnoty v otopném období k poklesu teplot ve vytápěných místnostech pod teplotu temperování, je potřeba počítat zvlášť víkendový provoz a provoz každý druhý víkend a jeden víkend v měsíci.

6.3.1 Potřeba tepla k ohřevu stěn při víkendovém provozu

Při víkendovém provozu nedojde k úplnému prochlazení stěn. Z tabulky 25 vyplývá, že průměrné teploty uvnitř vytápěných místností v otopném období neklesnou pod 5 °C, což znamená, že vliv temperování je v tomto případě téměř zanedbatelný. Potřeba tepla k ohřevu stěn při víkendovém provozu bude proto při využití temperování stejná jako v případě bez temperování. Při víkendovém provozu činí potřeba tepla na ohřev stěn **12,25 GJ**.

6.3.2 Potřeba tepla k ohřevu stěn pro provoz každý druhý týden a jeden víkend v měsíci

U provozů s dobou útlumu delší než jeden týden se předpokládá, že dojde k výraznějšímu poklesu teplot ve vytápěných místnostech. Z tohoto důvodu zde bude mít temperování větší význam než při víkendovém provozu. Temperování způsobí, že teplota ve vytápěných místnostech neklesne pod 5 °C, což má za následek snížení potřeby tepla na ohřátí stěn, protože se budou ohřívat z vyšší počáteční teploty.

Výpočet celkové potřeby tepla k ohřátí stěn za jedno otopné období při provozu každý druhý víkend a jednou za měsíc

$$Q_a = Q_{a1} \cdot n \quad (6.7)$$

kde	Q_a	[J]	celková potřeba tepla k ohřátí stěn za jedno otopné období při provozu každý druhý víkend a jednou za měsíc
	Q_{a1}	[J]	celková potřeba tepla k jednomu ohřátí stěn
	n	[-]	počet návštěv v jednom otopném období

Počet návštěv v jednom otopném období vyjadřuje, kolikrát bude nutno rekreační objekt vytopit.

Výpočet celkové potřeby k jednomu ohřátí stěn

$$Q_{a1} = \sum Q_{ak,k} \quad (6.8)$$

kde Q_{a1} [J] celková potřeba tepla k jednomu ohřátí stěn
 $Q_{ak,k}$ [J] potřeba tepla k ohřátí stěny k -té konstrukce

Potřeba tepla k ohřátí stěny konstrukce se pro provoz jednou za dva týdny nebo jednou za měsíc spočítá stejným způsobem, jako potřeba tepla na ohřátí stěn místnosti, uvedeným v kapitole 3.4.3 – výpočet potřeby tepla na ohřátí konstrukce.

Teploty v nevytápěných místnostech v době útlumu se budou od provozu bez temperování (tab. 22) mírně lišit. Jejich odhad lze vypočítat stejným způsobem jako v kapitole 5.3.1.

Tab. 39 Teplota v nevytápěných místnostech v době útlumu s temperováním

Místnost		Počet stěn sousedících s venkovním prostředím	Počet stěn sousedících s vnitřním prostředím	Vnitřní teplota v době útlumu
		E	l_i	$\theta_{h,ie}$
		-	-	°C
001,002,005	Schodiště I, sklep I, sklep II	3	1	3
102	Zádveří	4	2	3
104	Spíž	1	3	4
201,202	Půda I, půda II	6	4	3

Tab. 40 Výpočet potřeby tepla na ohřátí stěny mezi koupelnou a WC (č. m. 103) a zádveřím (č. m. 102)

Teplotní údaje			
Prostředí na venkovní straně	Nevytápěná místnost (102)		
Teplota na venkovní straně	θ_{out}	°C	8
Vnitřní výpočtová teplota	$\theta_{int,i}$	°C	22
Teplota na venkovní straně v době útlumu	$\theta_{s,e}$	°C	3
Vnitřní výpočtová teplota v době útlumu	$\theta_{s,i}$	°C	5
Potřeba tepla na ohřátí stavební části 5			
Měrný tepelný tok ohřátou stěnou	q_k	W/m ²	17,80
Měrný tepelný tok studenou stěnou	$q_{s,k}$	W/m ²	2,54
Omítka vápenocementová 1			
Teplota na vnitřní stěně	T_j	°C	19,69
Teplota mezi omítkou 1 a pórobetonem	T_{j+1}	°C	19,24
Střední teplota ohřáté vrstvy	$T_{m,j}$	°C	19,46
Teplota na vnitřní stěně v době útlumu	$T_{s,j}$	°C	4,67

Teplota mezi omítkou 1 a pórobetonem v době útlumu	$T_{s,j+1}$	°C	4,61
Střední teplota studené vrstvy	$T_{ms,j}$	°C	4,64
Teplotní rozdíl vrstvy stěny	$\Delta T_{ak,j}$	°C	14,82
Hmotnost vrstvy	m_j	kg	193,50
Potřeba tepla na ohřátí vrstvy	$Q_{ak,j}$	J	2266136
Pórobeton			
Teplota mezi omítkou 1 a pórobetonem	T_j	°C	19,24
Teplota mezi pórobetonem a omítkou 2	T_{j+1}	°C	10,76
Střední teplota vrstvy	$T_{m,j}$	°C	15,00
Teplota mezi omítkou 1 a pórobetonem v době útlumu	$T_{s,j}$	°C	4,61
Teplota mezi pórobetonem a omítkou 2 v době útlumu	$T_{s,j+1}$	°C	3,39
Střední teplota studené vrstvy	$T_{ms,j}$	°C	4,00
Teplotní rozdíl vrstvy stěny	$\Delta T_{ak,j}$	°C	11,00
Hmotnost vrstvy	m_j	kg	224,46
Potřeba tepla na ohřátí vrstvy	$Q_{ak,j}$	J	2074010
Omítka vápenocementová 2			
Teplota mezi pórobetonem a omítkou 2	T_j	°C	10,76
Teplota na venkovní stěně	T_{j+1}	°C	10,31
Střední teplota ohřáté vrstvy	$T_{m,j}$	°C	10,54
Teplota mezi pórobetonem a omítkou 2 v době útlumu	$T_{s,j}$	°C	3,39
Teplota na venkovní stěně v době útlumu	$T_{s,j+1}$	°C	3,33
Střední teplota studené vrstvy	$T_{ms,j}$	°C	3,36
Teplotní rozdíl vrstvy stěny	$\Delta T_{ak,j}$	°C	7,18
Hmotnost vrstvy	m_j	kg	193,50
Potřeba tepla na ohřátí vrstvy	$Q_{ak,j}$	J	1096894
Teplu potřebné k ohřátí stěny 5	$Q_{ak,k}$	J	5437040

Celková potřeba k jednomu ohřátí stěn:

$$Q_{a1} = \sum Q_{ak,k} = 361,25 \text{ MJ}$$

Celková potřeba tepla k ohřátí stěn za jedno otopné období **při provozu každý druhý víkend:**

$$Q_a = Q_{a1} \cdot n = 361,25 \cdot 10^6 \cdot 18 = \mathbf{6,50 \text{ GJ}}$$

Potřeba tepla k ohřátí stěn při provozu každý druhý víkend činí **6,50 GJ**.

Celková potřeba tepla k ohřátí stěn za jedno otopné období **při provozu jeden víkend v měsíci:**

$$Q_a = Q_{a1} \cdot n = 361,25 \cdot 10^9 \cdot 8 = \mathbf{2,89 \text{ GJ}}$$

Potřeba tepla k ohřátí stěn při provozu jeden víkend v měsíci činí **2,89 GJ**.

6.4 Potřeba tepla na vytápění

Výpočet potřeby tepla na vytápění [10]

Roční potřeba tepla se skládá z tepla, které odejde z vytopených místností prostupem a větráním, z tepla, které slouží k ohřátí stěn, a z tepla, které odejde z vytápěných místností prostupem při temperování.

$$Q_{vyt} = Q_{vyt} = \left(\frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \right) \cdot (Q_p + Q_{t,p} + Q_a) \quad (6.9)$$

kde	Q_{vyt}	[J]	potřeba tepla na vytápění
	Q_p	[J]	celková potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát prostupem a větráním v otopném období
	$Q_{t,p}$	[J]	celková potřeba tepla na pokrytí ztrát prostupem při temperování
	Q_a	[J]	celková potřeba tepla k ohřátí stěn
	ε	[-]	opravný součinitel
	η_o	[-]	účinnost obsluhy
	η_r	[-]	účinnost rozvodů

Hodnoty opravného součinitele a účinnosti rozvodů a obsluhy jsou shodné s případem bez temperování (kap. 5.4).

Pro víkendový provoz platí:

$$Q_{vyt} = \left(\frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \right) \cdot (Q_p + Q_{t,p} + Q_a) =$$

$$= \left(\frac{0,6}{0,95 \cdot 0,95} \right) \cdot (32,1 + 8,25 + 12,25) \cdot 10^9 = 35,0 \cdot 10^9 \text{ J} = \mathbf{35 \text{ GJ}}$$

Tab. 41 Potřeba tepla na vytápění při provozu s temperováním

	Potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát	Potřeba tepla na temperování	Potřeba tepla na ohřátí stěn	Potřeba tepla na vytápění
	Q_p	$Q_{t,p}$	Q_a	Q_{vyt}
	GJ	GJ	GJ	GJ
Víkendový provoz	32,10	8,25	12,25	35,0
Provoz každý druhý víkend	16,05	12,17	7,7	23,9
Provoz jednou za měsíc	7,13	14,85	3,9	17,2

6.5 Potřeba tepla k ohřevu teplé vody

Potřeba tepla na ohřev teplé vody je stejná, jako v provozu bez uvažování temperování. Za jedno otopné období se při víkendovém provozu spotřebuje **214,6 kWh** tepla na ohřev teplé vody, při provozu každý druhý víkend **107,3 kWh** a při provozu jeden víkend v měsíci spotřebuje **47,7 kWh**. Výpočet je uveden v kapitole 5.5.

6.6 Roční potřeba tepla v provozu s temperováním

Výpočet roční potřeby tepla

Roční potřeba tepla se skládá z potřeby tepla na vytápění a na ohřev teplé vody.

$$Q_r = Q_{vyt} + Q_{tv} \quad (6.10)$$

kde Q_r [J] roční potřeba tepla
 Q_{vyt} [J] potřeba tepla na vytápění
 Q_{tv} [J] celková potřeba tepla k ohřevu teplé vody

Roční potřeba tepla pro víkendový provoz:

$$Q_r = Q_{vyt} + Q_{tv} = \left(35,0 + \frac{214,6 \cdot 3,6}{1000} \right) \cdot 10^9 = 35,0 \cdot 10^9 \text{ J} = \mathbf{35,0 \text{ GJ}}$$

Tab. 42 Potřeba tepla při provozu s temperováním

	Potřeba tepla na vytápění	Potřeba tepla na ohřev teplé vody	Roční potřeba tepla
	Q_{vyt}	Q_{tv}	Q_r
	GJ	kJ	GJ
Víkendový provoz	35,0	0,8	35,8
Provoz každý druhý víkend	23,9	0,4	24,3
Provoz jednou za měsíc	17,2	0,2	17,4

7. Zdroje tepla

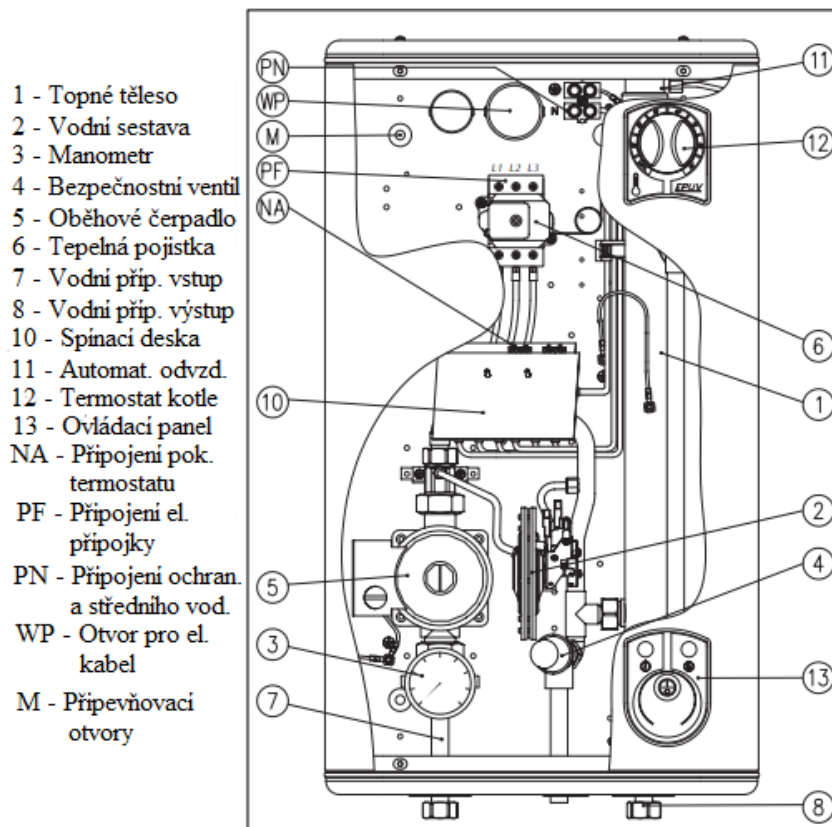
Zdroj tepla pro vytápění rekreačního objektu musí mít dostatečný výkon, aby zajistil požadovanou teplotu uvnitř vytápěných místností a ohřátí stěn v požadovaném čase. Další důležitou vlastností je palivo, které konkrétní zdroj tepla spotřebovává pro vytápění, protože v různých oblastech nemusí být zajištěna jeho distribuce (např. přípojka plynu). Některá paliva jsou pro vytápění méně vhodná z důvodu bezpečnosti. To platí především pro temperování, kdy člověk není v rekreačním objektu přítomen a nemá vytápění pod dohledem. Výhodou může být naopak možnost zahájení vytápění před příjezdem osob. V dnešní době je většina kotlů, především využívajících elektřinu nebo plyn, vybavena vstupem pro termostat, který lze ovládat přes mobilní telefon. Ovládání elektrických přímotopů na dálku lze zprostředkovat např. umístěním termostatických hlavice na tělesa.

7.1 Elektrokotel [19], [20]

Elektrokotel je zdroj tepla, který využívá pro vytápění elektřinu. Elektřina v tomto případě nevytápí přímo dané místnosti, ale slouží k ohřevu teplotnosné látky (vody) v otopném systému, která je rozváděna do otopných těles umístěných ve vytápěných místnostech. Elektrokotle se dají použít pro vytápění i ohřev teplé vody.

Výhodami tohoto zdroje tepla jsou vysoká účinnost, nízká hlučnost, nízká pořizovací cena, snadná montáž a snadná regulace. Provoz je ekologický, nevznikají při něm škodlivé plyny a částice. Z toho důvodu není nutný komín pro odvod zplodin. Jelikož elektrokotle zajišťují vytápění pomocí elektřiny, nepotřebují nikde skladovat palivo. Výhodou je též bezobslužný a automatický provoz.

Hlavní nevýhodou je cena elektřiny, u které se těžko odhaduje její další vývoj. Aby nedošlo k přetížení elektrické soustavy, je nutné instalovat vhodný jistič.



Obr. 15 Konstrukce elektrokotle [21]

7.2 Tepelné čerpadlo [22], [23], [24]

Tepelné čerpadlo využívá teplo z okolního prostředí (vzduchu, voda, země), při dodání určité energie ho převádí na vyšší teplotní hladinu a následně využívá k ohřevu teplotnosné látky (vody).

Tepelné čerpadlo je tvořeno čtyřmi základními částmi – výparníkem, kompresorem, kondenzátorem a expanzním ventilem. Teplo odebrané z okolního prostředí je ve výparníku předáno pracovní látce (kapalnému chladivu). Pracovní látka je tímto teplem ohřívána a dochází k jejímu vypařování. V dalším kroku jsou páry stlačovány v kompresoru. Páry pracovní látky s vysokým tlakem jsou přiváděny do kondenzátoru, kde kondenzují, když předávají teplo do topné vody. Z kondenzátoru se dostává pracovní látka do expanzního ventilu, kde dochází ke snížení jejího tlaku na původní hodnotu ve výparníku.

Pro vytápění rekreačního objektu je vhodné tepelné čerpadlo vzduch/voda nebo země/voda. Výhodou tepelného čerpadla vzduch/voda jsou nižší pořizovací náklady. Nevýhodou je nižší topný faktor (COP) a v zimě nutnost vyřešit odtávání námrazy ve výparníku. Výhodou tepelného čerpadla země/voda jsou stálé podmínky, což je spojeno s vyšším topným faktorem. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady na tepelné čerpadlo a náklady na vrt nebo instalaci plošného kolektoru, který vyžaduje velký prostor.

Výhodou tepelných čerpadel je ekonomický provoz, ekologické vytápění (nevypouští do okolí žádné emise) a téměř žádná obsluha.

Hlavní nevýhody jsou vysoké pořizovací náklady (k tepelnému čerpadlu je nutné přikoupit i další zařízení např. vnitřní systémovou jednotku), nízká teplota vstupní vody a pomalá regulace výkonu. Tepelná čerpadla bývají hlučná, proto se nedoporučuje jejich umístění do obytných místností.



Obr. 16 Tepelné čerpadlo vzduch-voda a vnitřní systémová jednotka od firmy Nibe [25]

7.3 Plynový kotel [26], [27], [28], [29]

Plynový kotel využívá pro vytápění zemní plyn. Při jeho spalování se ve výměníku ohřívá teplotnosná látka (voda), která se dále rozvádí k otopným tělesům. Podle způsobu spalování se plynové kotle dělí na konvenční a kondenzační. V dnešní době jsou z důvodu vyšší účinnosti uváděny na trh především kondenzační kotle.

Výhodami jsou především vysoká účinnost, plynulá regulace výkonu, rychlá návratnost počáteční investice, snadná obsluha, tichý provoz a možnost pracovat v plně automatickém

režimu. Další výhodou je i ekologičnost, neboť při spalování zemního plynu nevznikají pevné částice, např. saze a prach, které mají vysoký podíl na znečištění vzduchu v ČR. Zemní plyn je poměrně dostupný a není nutné pro jeho provoz vlastnit skladové prostory.

Hlavní nevýhodou jsou vyšší počáteční náklady. Další nevýhodou je nutnost vybudovat přípojku zemního plynu. Pro bezchybný provoz jsou nutné každoroční revize především kvůli možnosti vzniku oxidu uhelnatého při špatném spalování. Aby k tomu nedošlo, je nutné zajistit dostatečný přívod vzduchu i odtah spalin. Pro případ poruchy je vhodné nainstalovat čidlo oxidu uhelnatého do místnosti s kotlem.



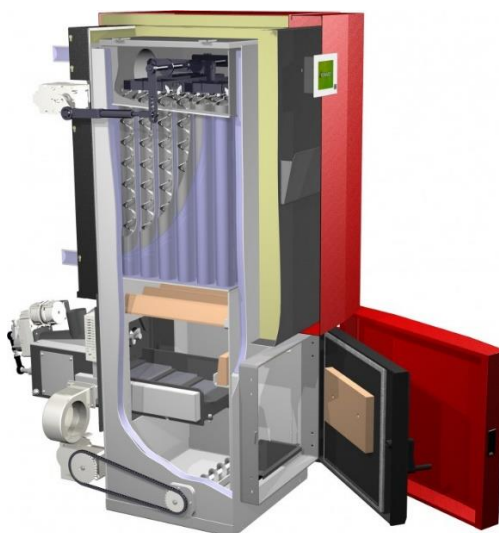
Obr. 17 Plynový kondenzační kotel závěsný od firmy Euroterm [30]

7.4 Kotle na tuhá paliva [31], [32], [33], [34]

Kotle na tuhá paliva představují tradiční řešení vytápění. Lze v nich spalovat kusové dřevo, dřevěné pelety, koks, hnědé a černé uhlí. V dnešní době existují automatické kotle na tuhá paliva, především uhlí a dřevní pelety. Tyto kotle jsou vybaveny automatickým podáváním a zapalováním paliva, nastavitelným nebo modulovaným výkonem a mohou být dálkově ovládány (např. přes internet). Z těchto důvodů mohou být využity pro vytápění rekreačních objektů, kde je požadováno zahájení vytápění ještě před příjezdem osob.

Výhodou je nízká cena a dostupnost paliva, vysoká účinnost vytápění, rychlá návratnost počáteční investice a snadná obsluha (je ovšem nutné doplňovat zásobník paliva). Moderní kotle na tuhá paliva jsou ekologické. Spalování dřeva a pelet nepřispívá ke vzniku skleníkového efektu.

Nevýhodou kotlů na tuhá paliva je především samotné palivo. Je nutné dělat předem zásoby na otopné období, s čímž souvisí nutnost vlastnit skladové prostory. Spalováním dochází ke vzniku popela, který je nutné vynášet. Další nevýhodou je vyšší vstupní investice. Prostory, ve kterých se kotel nachází, by měly mít zajištěný dostatečný přívod vzduchu a měly by být vybaveny ochranou proti vzniku požáru (např. požárním hlásičem).



Obr. 18 Automatický kotel od firmy Verner [35]

7.5 Elektrický přímotop [36], [37], [38]

Elektrické přímotopy jsou zdroje tepla, které využívají přeměny elektrické energie na teplo v odporových člancích. Podle principu přenosu tepla do prostoru je možné je rozdělit na elektrické přenosné konvektory a elektrické sálavé přímotopy (sálavé konvektory). Výhodou konvektorů je velmi rychlý zátop a ohřev vzduchu v místnosti. Problémem je kvůli téměř nulové složce sálavého tepla ohřátí stěn. Sálavé elektrické přímotopy kombinují konvektory a sálavé panely. Z celého výkonu tvoří asi 40 % infračervené záření, které ohřívá povrchy v místnosti. Zbytek tvoří konvekce, která ohřívá vzduch. Vzhledem ke svým vlastnostem jsou elektrické sálavé přímotopy pro vytápění rekreačního objektu vhodnější. Regulace přímotopů je prováděna pomocí vestavěných termostatů. Ty nelze nijak časově programovat, proto pro možnost zahájit vytápění před příjezdem jsou elektrické přímotopy vybaveny časovačem, nebo je lze připojit k internetu – buď přímo, či s využitím různých elektronických zařízení, například chytrých zásuvek [39], dálkového spínání centrálního vypínače nebo termostatického WiFi řízení teploty [40].

Výhodou elektrických přímotopů je nízká pořizovací cena, absence potrubní sítě, nízká hmotnost, tichý provoz, snadná montáž a téměř okamžitý výkon. Přenos tepla do vytápěné místnosti je zprostředkován přímo zdrojem tepla, není proto nutné pořizovat otopná tělesa. Provoz je ekologický, nedochází při něm k hoření paliva a tím ke vzniku škodlivin.

Nevýhodou je vyšší povrchová teplota (může dojít k přepalování prachu ve vzduchu) a vyšší náklady na vytápění vlivem cen za elektrickou energii. Elektrický přímotop nedokáže ohřívát teplou vodu. Tento problém řeší např. přímotopné zásobníky tepla.



Obr. 19 Elektrický sálavý přímotop od firmy Fenix [41]

7.6 Výběr zdroje tepla pro provoz bez temperování

Při provozu bez temperování je od zdroje tepla požadován především rychlý zátop, který je důležitý pro ohřátí vychladlé konstrukce. Vzhledem k tomu, že doba vytápění je podstatně kratší než v případě s temperováním, lze použít i takové, které jsou nákladnější na provoz. V tomto rekreačním domku je zavedena elektřina i přípojka plynu. Pro tento provoz má nejlepší vlastnosti **elektrokotel, plynový kotel nebo elektrický přímotop**. Nevýhodou ostatních zdrojů tepla - tepelného čerpadla a automatického kotle na tuhá paliva – jsou vysoké počáteční investice, které mají při kratší době vytápění velmi pomalou návratnost. Tepelné čerpadlo má navíc oproti ostatním pomalejší zátop, neboť pracuje při nižších teplotních spádech.

7.7 Výběr zdroje tepla pro provoz s temperováním

Při provozu s temperováním je doba vytápění delší. Z tohoto důvodu jsou pro tento případ vhodné zdroje tepla s nižšími náklady na provoz, při nichž se dá počítat s jistou návratností původní investice. Jelikož je objekt temperován na poměrně nízkou teplotu, je i zde požadován rychlejší zátop pro ohřátí zdí. Pro tento provoz je zde nejvhodnější **elektrokotel, plynový kotel nebo tepelné čerpadlo vzduch/voda v kombinaci s elektrokotlem**. Tepelné čerpadlo nejlépe pracuje při nižších spádech, což je velmi vhodné pro temperování. Provedení vzduch/voda má také, oproti ostatním, nižší počáteční náklady. Samotné tepelné čerpadlo není vhodné na rychlou změnu teplot. Proto je navrhována kombinace s elektrokotlem, který má rychlejší zátop, a použije se v případě, kdy je nutné rekreační objekt před návštěvou vytopit. Přestože je provoz samotného elektrokotle vzhledem k cenám paliva poměrně nákladný, při temperování není jeho spotřeba, vzhledem k nižším teplotám, tak velká a z tohoto důvodu je možné použít elektrokotel i samostatně.

Tepelné čerpadlo země/voda není příliš vhodné pro instalaci do rekreačního objektu, kvůli vysokým pořizovacím nákladům. Jelikož je teplota temperování nízká a na vyšší teplotu se objekt vytápí nejčastěji něco přes dva dny v týdnu, je návratnost velmi dlouhá.

Použití automatických kotlů na tuhá paliva není vhodné z důvodu omezeného zásobníku paliva. Při vytápění a temperování je spotřeba paliva vyšší než jen při samotném přerušovaném vytápění a zásobníky nejsou, především pro provoz jednou měsíčně, dostatečně velké.

Elektrické přímotopy nejsou uvažovány především z důvodů vyšších nákladů na vytápění a z rychlejšího poklesu vnitřní teploty ve vytápěných místnostech vzhledem k absenci teplovodní soustavy, což vede k prodloužení doby temperování. Většina časovačů lze programovat na týdenní provoz, což je nevhodné pro provoz každý druhý víkend nebo jednou za měsíc. Chytré zásuvky nelze použít, protože nedokáží obstarat zvýšení výkonu při přechodu z temperování na vytápění.

8. Ekonomický rozbor

Cílem ekonomického rozboru je určit nejvýhodnější zdroj vytápění pro každý typ provozu konkrétního rekreačního objektu vzhledem k investičním a provozním nákladům.

8.1 Investiční náklady

8.1.1 Investiční náklady teplovodních otopných soustav

Teplovodní otopné soustavy využívají všechny výše uvedené vybrané zdroje tepla mimo elektrické přímotopy.

Elektrokotel a plynový kotel jsou navrženy na teplotní spád 75/65 °C [42]. Jelikož lze zdroje tepla použít i pro vyšší spády, vzniká zde výkonová rezerva, kterou lze využít v nepředvídatelných situacích. Tepelné čerpadlo se využívá pouze při temperování a bude mít proto nižší výkon než elektrokotel, se kterým je pro vytápění kombinováno. Teplovodní topný systém bude navržen podle výkonu elektrokotle.

Výběr elektrokotle a plynového kotle

Tepelná ztráta činí 17 kW, zdroj tepla by měl mít výkon nejbližší této hodnotě. Investiční náklady na pořízení takového elektrokotle se pohybují od 15 000 Kč do 30 000 Kč [43]. Pro použití na vytápění daného rekreačního objektu byl zvolen typ Vaillant eloBLOCK VE 18 s cenou 21 754 Kč [44]. Rozsah výkonu je mezi 2 kW a 18 kW a obsahuje integrované bezpečnostní prvky, čerpadlo a protimrazovou ochranu [45].

Pořizovací náklady na plynový kotel se pohybují od 25 000 Kč do 60 000 Kč [46]. Pro vytápění a ohřev teplé vody byl v tomto případě zvolen typ Vaillant VU 206/5-5 ecoTEC plus s cenou 41 399 Kč [47]. Rozsah výkonu je mezi 3,8 kW a 20 kW a obsahuje integrované bezpečnostní prvky, čerpadlo a odvaděč kondenzátu [48].

Oba kotle mohou být použity pro provoz s i bez temperování a pro ohřev TV a jejich výkon lze regulovat. Vybraný elektrokotel lze použít i v kombinaci s tepelným čerpadlem v případě s temperováním.



Obr. 20 Vaillant eloBlock VE 18 [45]



Obr. 21 Vaillant VU 206/5-5 ecoTEC plus [47]

Výběr tepelného čerpadla pro temperování

Tepelné čerpadlo vzduch-voda se bude používat pouze pro temperování. Z tohoto důvodu jeho výkon může být nižší. Jeho výkon by měl být schopen pokrýt tepelnou ztrátu prostupem, která se vypočítá stejným způsobem jako v kapitole 4.3.1 s tím rozdílem, že vnitřní teplota všech vytápěných místností bude rovna teplotě temperování (5 °C). Tepelná ztráta větráním není v nepřítomnosti obyvatel podstatná, a jelikož se s temperováním započne, pokud teplota poklesne na 5 °C a zdroj tepla se ho snaží na této teplotě udržet, není zde potřeba započítávat zátopový výkon.

Výpočet výkonu tepelného čerpadla je uložen na přiloženém CD.

Tab. 43 Tepelná ztráta prostupem pro temperování

Místnost		Tepelná ztráta prostupem	
		$\Phi_{T,i}$	W
103	Koupelna + WC	807	W
105	Kuchyně	265	W
106	Chodba	252	W
107	Obývací pokoj	1257	W
108	Pokoj	947	W
109	Ložnice	944	W
110	Schodiště II	153	W
Celkem		4624	W

Výkon by měl být co nejbližší 4,6 kW. Pořizovací náklady za tepelné čerpadlo spolu s vnitřní systémovou jednotkou se pohybují mezi 150 000 Kč až do 300 000 Kč [49], [50], [51]. Pro temperování byl zvolen typ Vaillant aroTHERM VWL 55/3 A 230 V s cenou 169 400 Kč [51]. Maximální výkon je 4,4 kW a COP 4,7. Dodává se s vnitřní systémovou jednotkou Vaillant uniTOWER a regulací multiMATIC. Obsahuje oběhové čerpadlo, čidlo vlhkosti a ekvitermní regulaci [52].



Obr. 22 Tepelné čerpadlo vzduch-voda Vaillant aroTHERM [52]

Výběr otopných těles

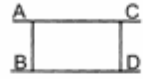
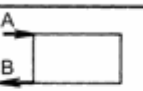
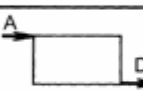
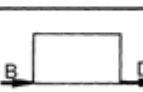
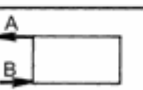
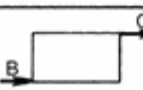
Výkon otopných těles v každé místnosti musí odpovídat návrhovému tepelnému výkonu konkrétní místnosti (viz kapitola 4.3.4). Výběr je proveden dle katalogu KORADO RADIK VK [53]. Zde je umístěna tabulka výkonů deskových otopných těles pro návrhové podmínky. Jejich hodnoty v ní se přepočítávají podle vnitřní teploty místnosti a teplotního spádu.

Výpočet výkonu otopných těles pro návrhové podmínky [54]

$$Q_T = \frac{Q_{T,skut}}{f_x \cdot f_o \cdot f_p} \quad (8.1)$$

kde	Q_T	[W]	výkon otopného tělesa pro návrhové podmínky
	$Q_{T,skut}$	[W]	skutečný výkon otopného tělesa
	f_x	[-]	opravný součinitel na připojení tělesa
	f_o	[-]	opravný součinitel na úpravu okolí
	f_p	[-]	opravný součinitel umístění tělesa v prostoru

Stanovení opravného součinitele na připojení těles

	PŘIPOJENÍ	opr. souč.
		f_x
1		1,00
2		1,00
3		0,90
4		0,78
5		0,85

Obr. 23 Opravný součinitel na připojení tělesa [55]

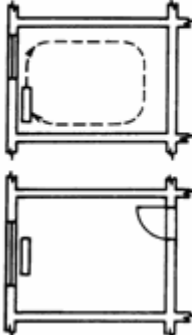
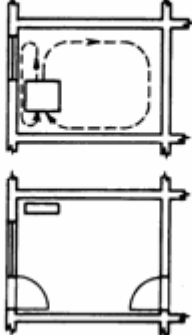
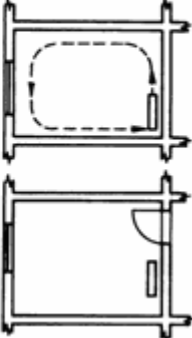
Všechna otopná tělesa jsou připojena shora dolů. Opravný součinitel na připojení tělesa je proto roven jedné.

Stanovení opravného součinitele na úpravu okolí [55]

Pod okny nejsou uvažovány žádné zákryty, které by zhoršovaly schopnost sálání a konvekce otopného tělesa. Opravný součinitel na úpravu okolí bude roven jedné.

Stanovení opravného součinitele na umístění tělesa v prostoru [55]

Schopnost otopného tělesa sdílet teplo do prostoru ovlivňuje mnoho faktorů. Patří k nim především proudění vzduchu ve vytápěném prostoru, rozložení teplot a chladné padající proudy u okenních ploch. Je-li těleso umístěno k neochlazované stěně, změní se rychlostní a teplotní pole a s nimi i výkon tělesa.

OPRAVNÝ SOUČINITEL f_p		
$f_p = 1,00$	$f_p = 0,95$	$f_p = 0,90$
		

Obr. 24 Opravný součinitel na umístění tělesa v prostoru [55]

Jedno těleso v pokoji a jedno v ložnici jsou umístěny vedle okna. Opravný součinitel na umístění tělesa do prostoru má hodnotu 0,95. Tělesa v koupelně a WC a tělesa na chodbě a na schodišti nejsou umístěna pod oknem nebo vedle něj. Jejich opravný součinitel má hodnotu 0,9. Pro ostatní otopná tělesa je hodnota 1,0.

Příklad výpočtu skutečného výkonu otopných těles

V místnosti obývací pokoj (č. m. 107) jsou dvě okna. Pod každé lze umístit jedno otopné těleso, z nichž obě mohou být vzhledem ke stejným rozměrům oken shodná. Návrhová tepelná ztráta místnosti je 4,1 kW, na každé těleso tak připadá skutečný výkon asi 2 kW.

Připojení je shora dolů, nejsou instalovány žádné zákryty a tělesa jsou umístěna pod okny. Výkon otopného tělesa pro návrhové podmínky:

$$Q_T = \frac{Q_{T,skut}}{f_x \cdot f_o \cdot f_p} = \frac{2}{1 \cdot 1 \cdot 1} = 2 \text{ kW}$$

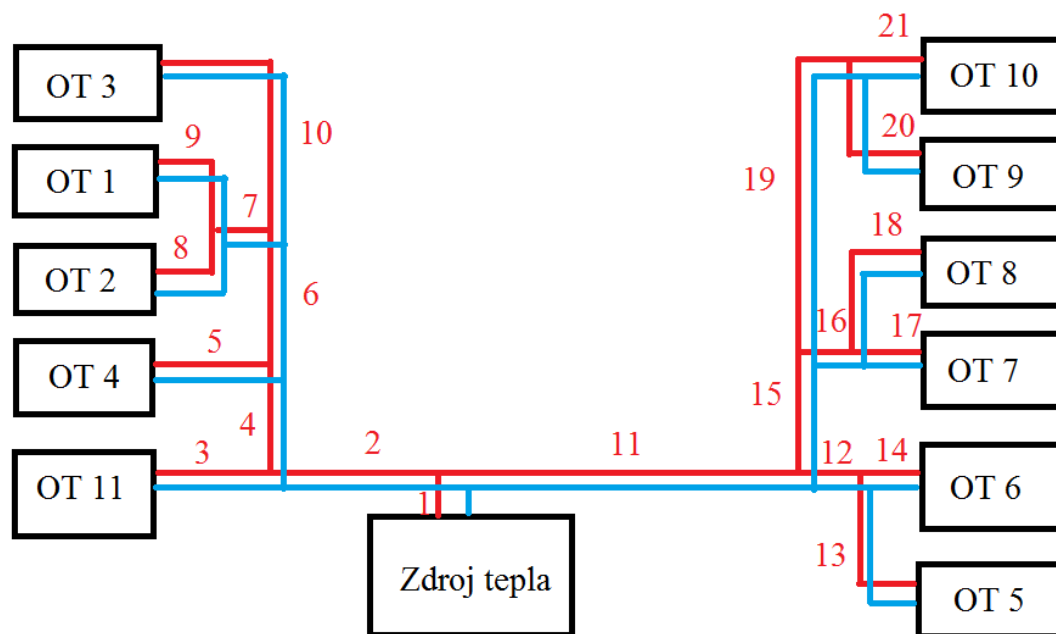
V tabulce s otopnými tělesy na internetových stránkách výrobce KORADO [55] se nastaví návrhové podmínky (teplotní spád, vnitřní teplota místnosti) a rozsah výkonu blízký vypočtené hodnotě (2 kW). Ze všech vhodných otopných těles se nejlépe jeví těleso typu 21 s délkou 1400 mm a šířkou 700 mm, neboť je širší než okna, a výkon, který je schopné přenést, je blízký požadované hodnotě.

Tab. 44 Otopná tělesa [53], [56]

Místnost		Označení otopného tělesa	Otopné těleso	Výkon OT pro návrhové podmínky	Skutečný výkon otopného tělesa	Cena otopného tělesa
			KORADO	Q_T	$Q_{T,skut}$	
			RADIK KLASIK	W	W	
103	Koupelna + WC	OT1	Typ 33 600x600	1367	1230	6370
		OT2	Typ 33 800x600	1822	1640	7187
105	Kuchyně	OT3	Typ 21 900x600	1316	1316	4888
106	Chodba	OT4	Typ 21 800x600	1169	1052	4648
107	Obývací pokoj	OT5	Typ 21 1400x700	2030	2030	6875
		OT6	Typ 21 1400x700	2030	2030	6875
108	Pokoj	OT7	Typ 21 1400x700	2030	2030	6875
		OT8	Typ 21 1100x700	1595	1515	6018
109	Ložnice	OT9	Typ 21 1400x700	2030	2030	6875
		OT10	Typ 21 1100x700	1595	1515	6018
110	Schodiště II	OT11	Typ 21 400x600	585	527	3696
Celkem		-	-	-	-	-

Návrh dimenzí potrubí

Dimenze potrubí se navrhuje tak, aby byla rychlost proudění maximálně $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ [57].



Obr. 25 Schéma otopné soustavy s označením jednotlivých úseků

Na obr. 25 jsou schematicky rozmístěna otopná tělesa a zdroj tepla. Čáry, které je spojují, vyjadřují jednotlivá potrubí – červeně přívodní a modře vratná. Číslo u potrubí označuje úseky přívodního potrubí. Jelikož bude v přívodních i odvodních trubkách proudit stejné množství vody, budou i jejich dimenze stejné.

Výpočet vnitřního průměru potrubí

$$d_{in} = \sqrt{\frac{\dot{Q}_u}{c \cdot \Delta T_T} \cdot \frac{1000000}{\frac{\pi \cdot w \cdot \rho}{4}}} \quad (8.2)$$

kde	d_{in}	[mm]	vnitřní průměr potrubí
	\dot{Q}_u	[W]	výkon úseku
	c	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita vody
	ΔT_T	[°C]	rozdíl v teplotách tepelného spádu
	w	[m·s ⁻¹]	rychlost proudění (0,5 m·s ⁻¹)
	ρ	[kg·m ³]	hustota vody

Výkon úseku (\dot{Q}_u) je roven součtu jednotlivých skutečných výkonů otopných těles za ním.

Vzorec 8.2 je odvozen z hmotnostního toku:

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V} = \frac{\rho \cdot d_{in} \cdot S}{t} = \frac{\dot{Q}_u}{c \cdot \Delta T_T} \rightarrow d_{in} \quad (8.3)$$

Pro 1. úsek platí:

$$d_{in} = \sqrt{\frac{16\,915}{4180 \cdot 10} \cdot \frac{1000000}{\frac{\pi \cdot 0,5 \cdot 1000}{4}}} \cong 32 \text{ mm}$$

Tab. 45 Vnitřní průměry potrubí jednotlivých úseků [58]

Úsek	Výkon úseku	Vnitřní průměr potrubí	Potrubí (měď')	Úsek	Výkon úseku	Vnitřní průměr potrubí	Potrubí (měď')
	Q _u	d _{in}	Vnější průměr x tloušťka stěny		Q _u	d _{in}	Vnější průměr x tloušťka stěny
	W	mm			W	mm	
1	16915	32	42 x 1,5	12	4060	16	18 x 1
2	5765	19	22 x 1	13	2030	11	15 x 1
3	527	6	12 x 1	14	2030	11	15 x 1
4	5238	18	18 x 1	15	7091	21	28 x 1
5	1052	8	12 x 1	16	3545	15	18 x 1
6	4186	16	18 x 1	17	2030	11	15 x 1
7	2870	13	18 x 1	18	1515	10	12 x 1
8	1640	10	12 x 1	19	3625	15	18 x 1
9	1230	9	12 x 1	20	2030	11	15 x 1
10	1316	9	12 x 1	21	1515	10	15 x 1
11	11151	26	28 x 1				

Tab. 46 Odhad nákladů na potrubí [58]

Potrubí	Délka potrubí	Cena potrubí
Vnější průměr x tloušťka stěny	l	
	m	Kč
42 x 1,5	6	2946
28 x 1	12	2112
18 x 1	19	2054
15 x 1	24	1944
12 x 1	17	1495
Celkem:		10552

Délka potrubí se skládá z délky přívodního a vratného potrubí, ke které se připočítá rezerva (asi 20 %). Je zaokrouhlena na celé metry. Jeho cena vychází na **10 552 Kč**.

Odhad ceny tvarových prvků [59]

V otopné soustavě je přítomna celá řada různých tvarových prvků, jako jsou např. kolena, T-kusy a redukce. Odhad jejich ceny je **1500 Kč**.

Odhad ceny armatur [60], [61]

V otopné soustavě se využívají především různé filtry a uzavírací a vypouštěcí kohouty. Odhad jejich ceny je **3000 Kč**.

Odhad ceny bezpečnostních zařízení [45], [48]

Expanzní nádoba i pojišťovací ventil jsou součástmi kotle.

Výběr zařízení pro dálkové řízení teploty zdroje tepla [62]

Internetový set IoT slouží k řízení teploty ve vytápěném objektu pomocí regulace elektrokotle nebo plynového kotle. Kotel lze ovládat přes aplikaci z mobilního telefonu. Lze ho tak na dálku vypnout, zapnout, nebo nastavovat jeho teplotu.

Set se skládá z WiFi termostatického modulu Sonoff TH16, pomocného relé VS116K, napájecího kabelu a exteriérového vodotěsného senzoru Sonoff T.

Celková cena činí **1195 Kč**.

Výběr ohřívače TV [63], [64]

Pro ohřev TV byl zvolen závěsný zásobníkový ohřívač s ohřevem z kotle typu Dražice OKC 80 NTR/Z. Největší objem teplé vody je spotřebován na mytí osob. Pokud by se oba návštěvníci myli těsně za sebou, spotřebovali by asi 50 l teplé vody. Objem ohřívače 76 l bude proto na provoz dostatečný. Cena činí **6 490 Kč**.

Odhad ceny za montáž [65], [66]

Cena za montáž se skládá především z ceny za připojení zdroje tepla, přikotvení a zapojení otopných těles, usazení rozvodů topení a sekání drážek do betonu (rozvody topení jsou vedeny v zemi). Cena se u každého uvažovaného zdroje tepla mírně liší, především z důvodu jeho instalace.

Odhad investičních nákladů na topení elektrokotlem

Investiční náklady zahrnují především náklady na pořízení a montáž elektrokotle, otopných těles, rozvodů a ohřívače teplé vody.

Tab. 47 Investiční náklady na topení elektrokotlem

	Pořizovací náklady
	Kč
Elektrokotel	21754
Otopná tělesa	66325
Potrubí	10552
Tvarové prvky	1500
Armatury	3000
Dálkové řízení	1195
Ohřívač TV	6490
Montáž	32000
Celkem	142816

Investiční náklady pro vytápění elektrokotlem činí **142 816 Kč**.

Odhad investičních nákladů na topení plynovým kotlem

Investiční náklady zahrnují především náklady na pořízení a instalaci plynového kotle, jeho odkouření do komína a pořízení a instalaci otopných těles, rozvodů a ohřívače teplé vody.

Tab. 48 Investiční náklady na topení plynovým kotlem

	Pořizovací náklady
	Kč
Plynový kotel	41399
Otopná tělesa	66325
Potrubí	10552
Tvarové prvky	1500
Armatury	3000
Dálkové řízení	1195
Ohřívač TV	6490
Montáž	34000
Celkem	164461

Investiční náklady pro vytápění plynovým kotlem činí **164 461 Kč**.

Odhad investičních nákladů na topení elektrokotlem v kombinaci s tepelným čerpadlem

Investiční náklady zahrnují především náklady na pořízení a instalaci elektrokotle, tepelného čerpadla, otopných těles, rozvodů a ohřívače teplé vody.

Tab. 49 Investiční náklady na topení elektrokotlem v kombinaci s tepelným čerpadlem

	Pořizovací náklady
	Kč
Elektrokotel	21754
Tepelné čerpadlo	169400
Otopná tělesa	66325
Potrubí	10552
Tvarové prvky	1500
Armatury	3000
Dálkové řízení	1195
Ohříváč TV	6490
Montáž	42700
Celkem	322916

Investiční náklady pro vytápění elektrokotlem v kombinaci s tepelným čerpadlem vzduch/voda činí **322 916 Kč**.

8.1.2 Investiční náklady topení elektrickými přímotopy

Výběr zdrojů tepla

Elektrické sálavé přímotopy (sálavé konvektory) jsou umístěny v jednotlivých místnostech tak, aby jejich výkon byl blízký návrhovému tepelnému výkonu místností (viz kap. 4.3.4).

Tab. 50 Elektrické sálavé přímotopy [67]

Místnost		Návrhový tepelný výkon	Označení přímotopu	Elektrický sálavý přímotop	Výkon el. přímotopu	Cena el. přímotopu
		$\Phi_{HL,i}$		Fenix	Q_{ep}	Kč
		W		ECOFEX	W	
103	Koupelna + WC	2960	EP1	SOLIUS 20	2000	5261
			EP2	SOLIUS 10	1000	3737
105	Kuchyně	1333	EP3	SOLIUS 15	1500	4549
106	Chodba	1082	EP4	SOLIUS 10	1000	3737
107	Obývací pokoj	4099	EP5	SOLIUS 20	2000	5261
			EP6	SOLIUS 20	2000	5261
108	Pokoj	3529	EP7	SOLIUS 20	2000	5261
			EP8	SOLIUS 15	1500	4549
109	Ložnice	3497	EP9	SOLIUS 20	2000	5261
			EP10	SOLIUS 15	1500	4549
110	Schodiště II	587	EP11	SOLIUS 07	750	3355
Celkem		17087	-	-	17250	50781

Výběr zařízení pro dálkové řízení teploty zdrojů tepla [40]

Termostatické WiFi řízení teploty elektrického přímotopu přes telefon umožňuje řízení na dálku. Jeden systém může ovládat pouze jedno topné těleso, ke kterému se přímo připojí.

Jeden WiFi termostatický modul Sonoff TH16 v sestavě s exteriérovým senzorem Sonoff T a napájecí šňůrou vyjde na 775 Kč. Celková cena za všechny elektrické přímotopy bude **8525 Kč**.

Výběr ohřívače TV [68], [69]

Pro ohřev TV byl zvolen typ Dražice OKHE ONE 80. Jedná se o zásobníkový ohřívač TV stacionární s elektrickým ohřevem s příkonem 2 kW, objemem 65 l a s cenou **6490 Kč**.

Odhad ceny za montáž [65]

Cena za montáž se skládá především z ceny za připojení zdrojů tepla, zapojení termostatických hlav a připojení ohřívače teplé vody. Odhadovaná cena činí **15 000 Kč**.

Odhad investičních nákladů na topení elektrickými přímotopy

Investiční náklady se skládají z nákladů na pořízení elektrických přímotopů, dálkového řízení a ohřívače teplé vody, a ceny za montáž.

Tab. 51 Investiční náklady elektrických přímotopů

	Pořizovací náklady
	Kč
Elektrické přímotopy	50781
Dálkové řízení	8525
Ohřívač TV	6490
Montáž	15000
Celkem	80796

V případě vytápění elektrickými přímotopy činí pořizovací náklady **80 796 Kč**.

8.2 Náklady na vytápění a ohřev TV

Ve výpočtu nákladů na vytápění a ohřev TV se vychází z ceníků firmy E.ON s fixací na 24 měsíců.

8.2.1 Náklady na vytápění a ohřev TV elektrokotlem

Účinnost elektrokotle dosahuje 95 % [45]. Cena elektřiny je stanovena podle ceníku VARIANT 24. listopadu 2018 [70]. Celková cena za elektřinu se skládá především z ceny za dodávku elektřiny, daně z elektřiny a z ceny za systémové služby. Měsíční platby se počítají především za hlavní proudový jistič. Dále je zde započítána cena za podporu elektřiny z podporovaných zdrojů energie, které se též od velikosti proudové hodnoty hlavního jističe. Jejich ceny se odvíjejí od typu tarifu a distribuční sazby zdroje tepla (pro elektrokotel je distribuční sazba D 57d). Vytápění bude probíhat v nízkém tarifu.

Výpočet ročních nákladů na vytápění a ohřev TV elektrokotlem

Celková cena za elektřinu ($c_{el,c}$) je pro provoz elektrokotle v nízkém tarifu 2147,88 Kč/MWh. Jmenovitý proud jističe proud elektrokotle je 32 A [45]. Měsíční platby ($c_{el,m}$) vychází na 517,39 Kč/měsíc a cena za podporu elektřiny z podporovaných zdrojů ($c_{el,p}$) je 525,12 Kč/měsíc.

$$N_{el} = \frac{Q_r}{\eta_{el}} \cdot c_{el,c} + 12 \cdot (c_{el,m} + c_{el,p}) \quad (8.4)$$

kde	N_{el}	[Kč]	roční náklady na vytápění a ohřev TV elektrokotlem
	Q_r	[MWh]	roční potřeba tepla
	η_{el}	[-]	účinnost elektrokotle
	$c_{el,c}$	[Kč/MWh]	celková cena elektřiny
	$c_{el,m}$	[Kč/měsíc]	měsíční platby
	$c_{el,p}$	[Kč/měsíc]	cena za podporu elektřiny z podporovaných zdrojů

Pro víkendový provoz bez temperování platí:

$$N_{el} = \frac{8,4}{0,95} \cdot 2147,88 + 12 \cdot (517,39 + 525,12) = \mathbf{31\,540\,Kč}$$

Tab. 52 Roční náklady na vytápění a ohřev TV elektrokotlem

Provoz		Potřeba tepla	Náklady na vytápění
		Q_r	N_{el}
		MWh	Kč
Bez temperování	Víkendový provoz	8,4	31540
	Každý druhý víkend	4,5	22684
	Jednou za měsíc	2,1	17220
S temperováním	Víkendový provoz	9,9	34994
	Každý druhý víkend	6,8	27771
	Jednou za měsíc	4,8	23438

8.2.2 Náklady na vytápění a ohřev TV plynovým kotlem

Účinnost kondenzačního plynového kotle dosahuje 108 %² [48]. Cena zemního plynu je stanovena podle ceníku VARIANT z 24. září 2018 [71]. Zde je uvedena celková cena za plyn, do které se započítává komoditní cena, cena za distribuovaný plyn a cena za činnosti operátora trhu, a z celkového stálého platu, který se skládá ze stálého platu a ze stálého platu za přistavenou kapacitu. Jejich ceny se odvíjejí od roční potřeby tepla.

² Účinnost může být u kondenzačních kotlů vyšší než 100 %, protože je vztažena k výhřevnosti paliva, v jejíž definici se předpokládá po spalení paliva vznik spalin, které obsahují vodu pouze v plynné podobě. Kondenzací vody ve spalinách se zvyšuje zisk tepla při spalování a tím i účinnost zdroje tepla.

Tab. 53 Celková cena a celkový stálý plat za zemní plyn

Provoz		Potřeba tepla	Potřeba tepla	Celková cena	Celkový stálý plat
		Q_r	Q_r	$c_{pl,c}$	$c_{pl,p}$
		GJ	MWh	Kč/MWh	Kč/měsíc
Bez temperování	Víkendový provoz	30,3	8,4	1235,99	310,27
	Každý druhý víkend	16,2	4,5	1296,50	185,90
	Jednou za měsíc	7,5	2,1	1296,50	185,90
S temperováním	Víkendový provoz	35,8	9,9	1235,99	310,27
	Každý druhý víkend	24,3	6,8	1296,50	185,90
	Jednou za měsíc	17,4	4,8	1296,50	185,90

$$N_{pl} = \frac{Q_r}{\eta_{pl}} \cdot c_{pl,c} + 12 \cdot c_{pl,m} \quad (8.5)$$

kde	N_{pl}	[Kč]	roční náklady na vytápění a ohřev TV plynovým kotlem
	Q_r	[MWh]	roční potřeba tepla
	η_{pl}	[-]	účinnost plynového kotle
	$c_{pl,c}$	[Kč·MWh ⁻¹]	celková cena zemního plynu
	$c_{pl,m}$	[Kč·měsíc ⁻¹]	celkový stálý plat za měsíc

Pro víkendový provoz bez temperování platí:

$$N_{pl} = \frac{8,4}{1,08} \cdot 1235,99 + 12 \cdot 310,27 = \mathbf{13\,356\,Kč}$$

Tab. 54 Roční náklady na vytápění a ohřev TV plynovým kotlem

Provoz		Potřeba tepla	Náklady na vytápění
		Q_r	N_{pl}
		MWh	Kč
Bez temperování	Víkendový provoz	8,4	13356
	Každý druhý víkend	4,5	7633
	Jednou za měsíc	2,1	4732
S temperováním	Víkendový provoz	9,9	15104
	Každý druhý víkend	6,8	10334
	Jednou za měsíc	4,8	8033

8.2.3 Náklady na vytápění a ohřev TV elektrokotlem v kombinaci s tepelným čerpadlem

Účinnost elektrokotle dosahuje 95 % [43]. Tepelné čerpadlo má průměrný COP roven 4,7 [52]. Ceny elektrické energie jsou podle stejného ceníku, jako je uveden v kap. 8.2.1. Pro tepelná čerpadla platí distribuční sazba D 57d.

Výpočet roční potřeby tepla na temperování tepelným čerpadlem [10]

$$Q_{\text{rtp}} = \left(\frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \right) \cdot (Q_{\text{tp}}) \quad (8.6)$$

kde	Q_{rtp}	[J]	roční potřeba tepla na temperování tepelným čerpadlem
	Q_{tp}	[J]	celková potřeba tepla na pokrytí ztrát prostupem při temperování (výpočet v kap. 6.2)
	ε	[-]	opravný součinitel
	η_o	[-]	účinnost obsluhy
	η_r	[-]	účinnost rozvodů

Pro víkendový provoz platí:

$$Q_{\text{rtp}} = \left(\frac{0,6}{0,95 \cdot 0,95} \right) \cdot (8,25 \cdot 10^9) = 5,45 \cdot 10^9 \text{ J} = \mathbf{5,45 \text{ GJ}}$$

Roční potřeba tepla na temperování činí při víkendovém provozu **5,45 GJ**, při provozu každý druhý víkend **8,09 GJ** a při provozu jeden víkend v měsíci **9,87 GJ**.

Výpočet roční potřeby tepla na vytápění a ohřev TV elektrokotlem [10]

$$Q_{\text{rvyte}} = \left(\frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \right) \cdot (Q_p + Q_{\text{at}}) + Q_{\text{tv}} \quad (8.7)$$

kde	Q_{rvyte}	[J]	roční potřeba tepla vytápění elektrokotlem
	Q_p	[J]	celková potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát prostupem a větráním v otopném období (viz kap. 6.1)
	Q_a	[J]	celková potřeba tepla k ohřátí stěn (viz kap. 6.3)
	Q_{tv}	[J]	celková potřeba tepla k ohřevu teplé vody (viz kap. 6.5)
	ε	[-]	opravný součinitel
	η_o	[-]	účinnost obsluhy
	η_r	[-]	účinnost rozvodů

Pro víkendový provoz platí:

$$Q_{\text{rvyte}} = \left(\frac{0,6}{0,95 \cdot 0,95} \right) \cdot (32,10 \cdot 10^9 + 12,25 \cdot 10^9) + \left(\frac{214,6 \cdot 3,6}{1000} \right) \cdot 10^9 = 30,3 \cdot 10^9 \text{ J} = \mathbf{30,3 \text{ GJ}}$$

Roční potřeba tepla na vytápění při temperování činí při víkendovém provozu **30,3 GJ**, při provozu každý druhý víkend **15,8 GJ** a při provozu jeden víkend v měsíci **7,4 GJ**.

Výpočet nákladů na vytápění a ohřev TV elektrokotlem v kombinaci s tepelným čerpadlem

Celková cena za elektřinu ($c_{\text{el,c}}$), měsíční platby ($c_{\text{el,m}}$) a cena za podporu elektřiny z podporovaných zdrojů ($c_{\text{el,p}}$) jsou shodné s hodnotami, uvedenými v kap. 8.2.1.

$$N_{te} = \frac{Q_{rtp}}{COP} \cdot c_{el,c} + \frac{Q_{rvyte}}{\eta_{el}} \cdot c_{el,c} + 12 \cdot (c_{el,tc} + c_{el,tc}) \quad (8.8)$$

kde	N_{te}	[Kč]	roční náklady na vytápění a ohřev TV elektrokotlem v kombinaci s tepelným čerpadlem
	Q_{rtp}	[MWh]	roční potřeba tepla na temperování tepelným čerpadlem
	Q_{rvyte}	[MWh]	roční potřeba tepla na vytápění a ohřev TV elektrokotlem
	COP	[-]	topný faktor
	η_{el}	[-]	účinnost elektrokotle
	$c_{el,c}$	[Kč/MWh]	celková cena elektřiny
	$c_{el,m}$	[Kč/měsíc]	měsíční platby
	$c_{el,p}$	[Kč/měsíc]	cena za podporu elektřiny z podporovaných zdrojů

Pro víkendový provoz bez temperování platí:

$$N_{te} = \frac{1,5}{4,7} \cdot 2147,88 + \frac{8,4}{0,95} \cdot 2147,88 + 12 \cdot (517,39 + 525,12) = 32\,231 \text{ Kč}$$

Tab. 55 Náklady na vytápění a ohřev TV elektrokotlem s temperováním tepelným čerpadlem

Provoz	Potřeba tepla na temperování	Potřeba tepla	Roční náklady na vytápění elektrokotlem s temperováním tepelným čerpadlem
	Q_{rtp}	Q_{rvyt}	N_{te}
	MWh	MWh	Kč
Víkendový provoz	1,5	8,4	32231
Každý druhý víkend	2,2	4,4	23460
Jednou za měsíc	2,7	2,1	18411

8.2.4 Výpočet ročních nákladů na vytápění elektrickými přímotopy

Účinnost elektrických přímotopů dosahuje 100 %. Ceny elektrické energie jsou ze stejného ceníku, který je uveden v kap. 8.2.1. Pro elektrické přímotopy platí distribuční sazba D 57d.

Výpočet ročních nákladů na vytápění elektrickými přímotopy [10]:

$$N_{ep} = \frac{Q_r}{\eta_{ep}} \cdot c_{el,c} + 12 \cdot (c_{el,m} + c_{el,p}) \quad (8.9)$$

kde	N_{ep}	[Kč]	roční náklady na vytápění elektrickými přímotopy
	Q_r	[MWh]	roční potřeba tepla
	η_{ep}	[-]	účinnost elektrických panelů
	$c_{el,c}$	[Kč/MWh]	celková cena elektřiny
	$c_{el,m}$	[Kč/měsíc]	měsíční platby
	$c_{el,p}$	[Kč/měsíc]	cena za podporu elektřiny z podporovaných zdrojů

Ve výpočtu je zahrnut i ohřev teplé vody v zásobníku, protože se k němu též využívá elektrická energie.

Pro víkendový provoz platí

$$N_{ep} = \frac{8,4}{1} \cdot 2147,88 + 12 \cdot (517,39 + 525,12) = \mathbf{30\ 588\ Kč}$$

Tab. 56 Roční náklady na vytápění elektrickými přímotopy při provozu bez temperování

Provoz	Potřeba tepla	Náklady na vytápění
	Q_r	N_{ep}
	MWh	Kč
Víkendový provoz	8,4	30588
Každý druhý víkend	4,5	22176
Jednou za měsíc	2,1	16985

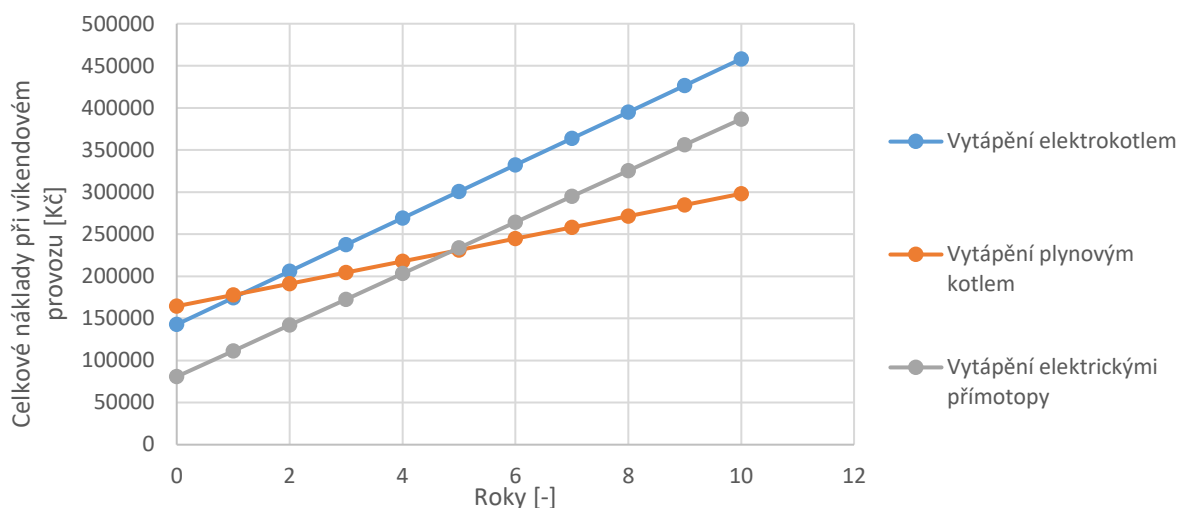
8.3 Ekonomický rozbor vytápění při provozu bez temperování

Vhodné zdroje tepla pro vytápění při provozu bez temperování jsou elektrokotel, plynový kotel a elektrické přímotopy (viz kap. 7.6). Celkové náklady jsou vypočteny do deseti let provozu.

8.3.1 Ekonomický rozbor vytápění při víkendovém provozu

Tab. 57 Celkové náklady na vytápění a ohřev TV při víkendovém provozu I.

Roky	Celkové náklady při vytápění elektrokotlem	Celkové náklady při vytápění plynovým kotlem	Celkové náklady při vytápění elektrickými přímotopy
-	Kč	Kč	Kč
0	142816	164461	80796
1	174355	177817	111384
2	205895	191172	141972
3	237434	204528	172560
4	268974	217883	203148
5	300514	231239	233737
6	332053	244594	264325
7	363593	257950	294913
8	395132	271306	325501
9	426672	284661	356089
10	458211	298017	386677

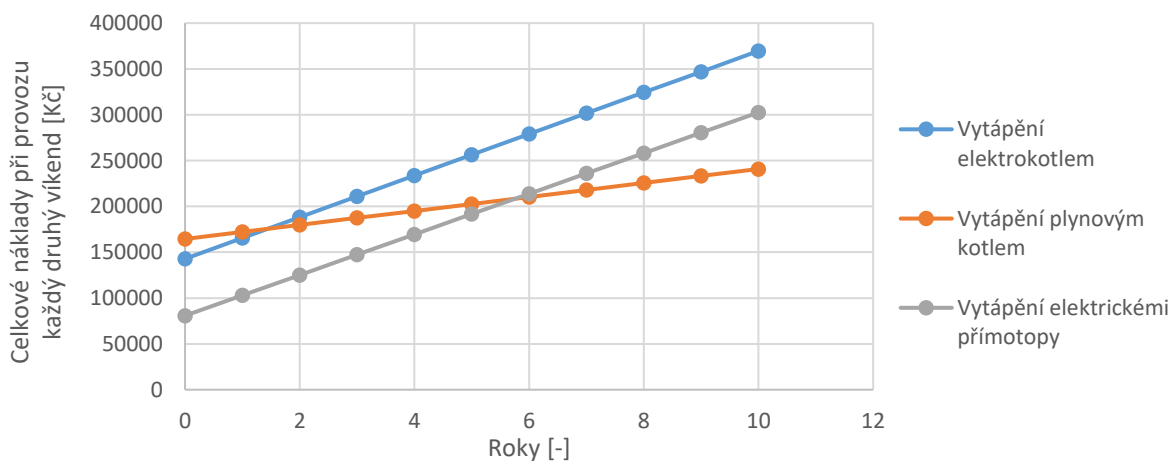


Obr. 26 Vývoj celkových nákladů vytápění různými zdroji tepla při víkendovém provozu I.

8.3.2 Ekonomický rozbor vytápění při provozu každý druhý víkend

Tab. 58 Celkové náklady na vytápění a ohřev TV při provozu každý druhý víkend I.

Roky	Celkové náklady při vytápění elektrokotlem	Celkové náklady při vytápění plynovým kotlem	Celkové náklady při vytápění elektrickými přímotopy
-	Kč	Kč	Kč
0	142816	164461	80796
1	165500	172094	102972
2	188184	179727	125147
3	210868	187360	147323
4	233553	194993	169498
5	256237	202625	191674
6	278921	210258	213849
7	301606	217891	236025
8	324290	225524	258201
9	346974	233157	280376
10	369658	240790	302552

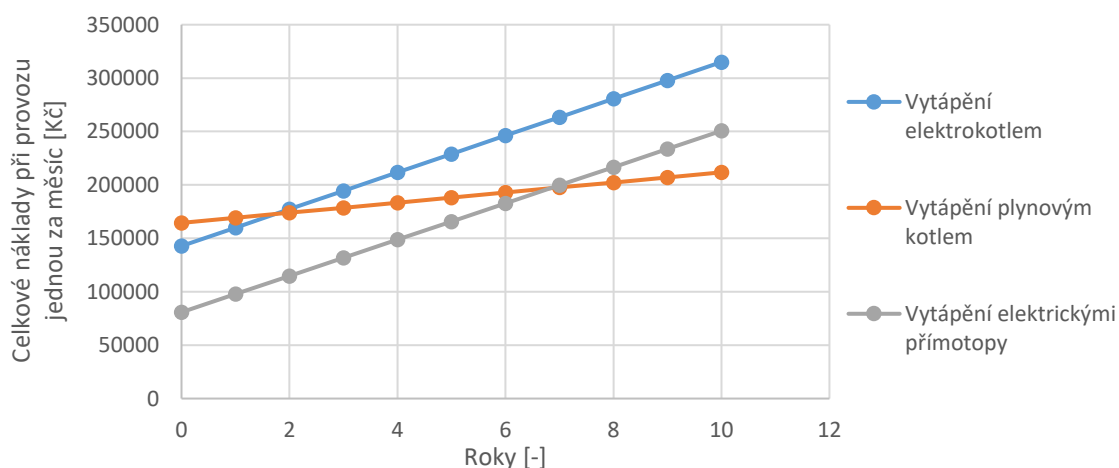


Obr. 27 Vývoj celkových nákladů vytápění různými zdroji tepla při provozu každý druhý víkend I.

8.3.3 Ekonomický rozbor vytápění při provozu jednou za měsíc

Tab. 59 Celkové náklady na vytápění a ohřev TV při provozu jednou za měsíc I.

Roky	Celkové náklady při vytápění elektrokotlem	Celkové náklady při vytápění plynovým kotlem	Celkové náklady při vytápění elektrickými přímotopy
-	Kč	Kč	Kč
0	142816	164461	80796
1	160036	169193	97781
2	177256	173925	114766
3	194477	178656	131751
4	211697	183388	148735
5	228918	188120	165720
6	246138	192852	182705
7	263358	197583	199690
8	280579	202315	216675
9	297799	207047	233660
10	315019	211779	250645



Obr. 28 Vývoj celkových nákladů vytápění různými zdroji tepla při provozu jednou za měsíc I.

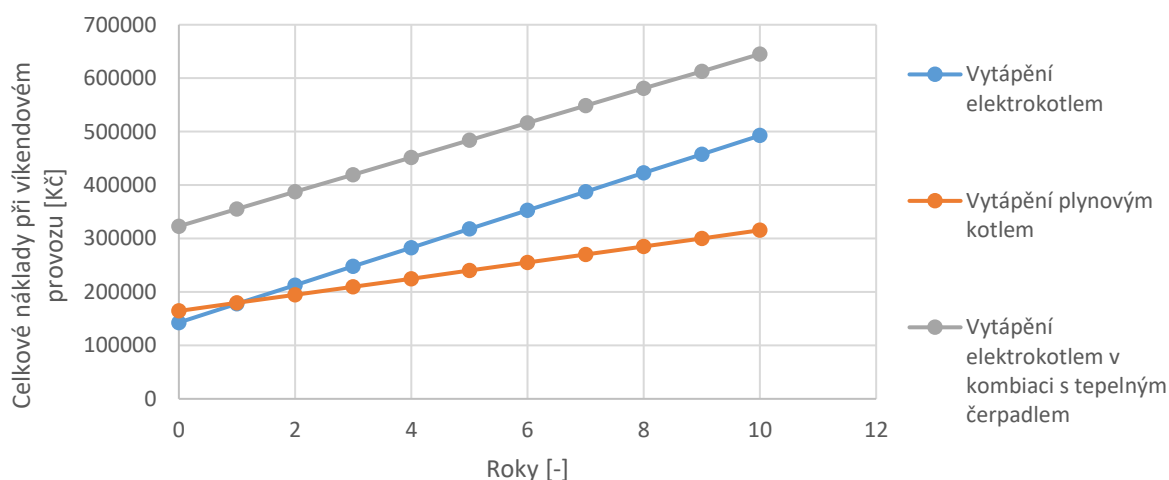
8.4 Ekonomický rozbor vytápění při provozu s temperováním

Vhodné zdroje tepla pro vytápění při provozu s temperováním jsou elektrokotel, plynový kotel a elektrokotel v kombinaci s tepelným čerpadlem vzduch/voda (viz kap. 7.7). Celkové náklady jsou vypočteny do deseti let provozu.

8.4.1 Ekonomický rozbor vytápění při víkendovém provozu

Tab. 60 Celkové náklady na vytápění a ohřev TV při víkendovém provozu II.

Roky	Celkové náklady při vytápění elektrokotlem	Celkové náklady při vytápění plynovým kotlem	Celkové náklady při vytápění elektrokotlem v kombinaci s tepelným čerpadlem
-	Kč	Kč	Kč
0	142816	164461	322916
1	177809	179565	355147
2	212803	194669	387379
3	247797	209773	419610
4	282791	224877	451842
5	317784	239981	484073
6	352778	255085	516305
7	387772	270189	548536
8	422766	285293	580767
9	457760	300397	612999
10	492753	315501	645230



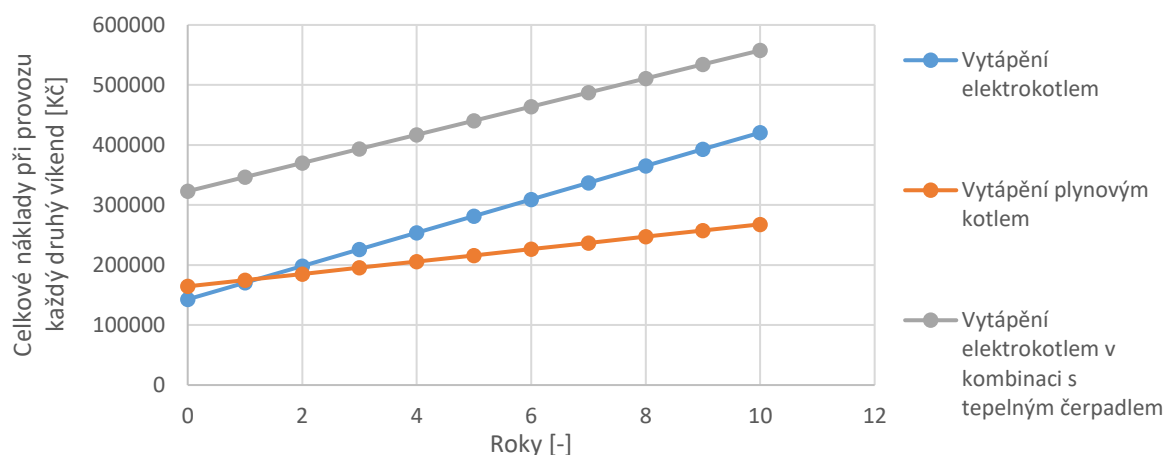
Obr. 29 Vývoj celkových nákladů vytápění různými zdroji tepla při víkendovém provozu II.

8.4.2 Ekonomický rozbor vytápění při provozu každý druhý víkend

Tab. 61 Celkové náklady na vytápění a ohřev TV při provozu každý druhý víkend II.

Roky	Celkové náklady při vytápění elektrokotlem	Celkové náklady při vytápění plynovým kotlem	Celkové náklady při vytápění elektrokotlem v kombinaci s tepelným čerpadlem
-	Kč	Kč	Kč
0	142816	164461	322916
1	170587	174795	346376
2	198358	185129	369836
3	226130	195463	393296
4	253901	205797	416756

5	281672	216131	440216
6	309444	226465	463676
7	337215	236798	487136
8	364987	247132	510596
9	392758	257466	534056
10	420529	267800	557516

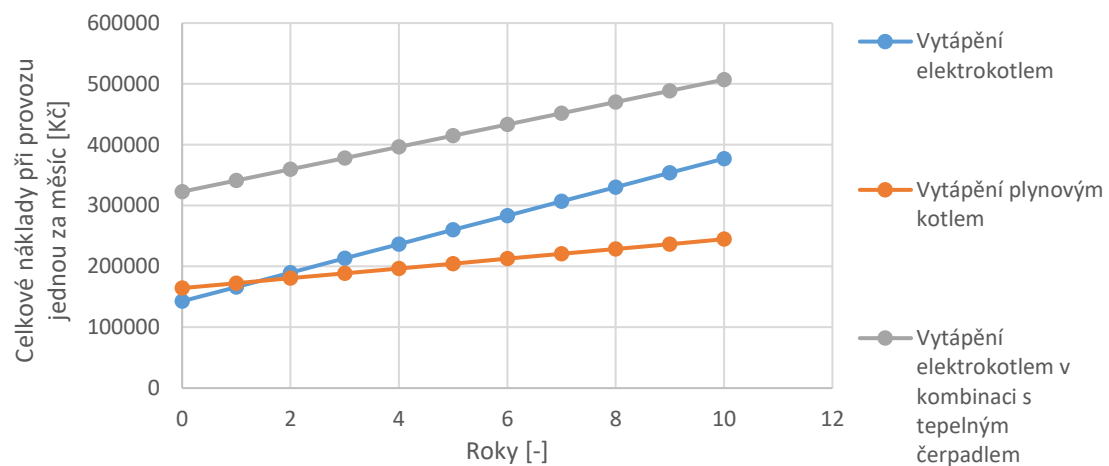


Obr. 30 Vývoj celkových nákladů vytápění různými zdroji tepla při provozu každý druhý víkend II.

8.4.3 Ekonomický rozbor vytápění při provozu jednou za měsíc

Tab. 62 Celkové náklady na vytápění a ohřev TV při provozu jednou za měsíc II.

Roky	Celkové náklady při vytápění elektrokotlem	Celkové náklady při vytápění plynovým kotlem	Celkové náklady při vytápění elektrokotlem v kombinaci s tepelným čerpadlem
-	Kč	Kč	Kč
0	142816	164461	322916
1	166254	172494	341327
2	189691	180527	359737
3	213129	188560	378148
4	236567	196593	396558
5	260005	204626	414969
6	283443	212659	433379
7	306881	220692	451790
8	330319	228725	470200
9	353757	236758	488611
10	377195	244791	507021



Obr. 31 Vývoj celkových nákladů vytápění různými zdroji tepla při provozu jednou za měsíc II.

9. Závěr

Po zakreslení stavebních výkresů byly navrženy teploty uvnitř vytápěných místností dle normy nebo podle požadavků obyvatel objektu. Výpočtová venkovní teplota v příslušné lokalitě je dána normou. Výpočet návrhového tepelného výkonu byl proveden zjednodušenou metodou dle ČSN EN 12 831-1. Nejprve byly stanoveny součinitelé prostupu tepla jednotlivých konstrukcí a poté návrhová tepelná ztráta prostupem a větráním. Zátopový výkon byl odhadnut z tepla potřebného na ohřátí konstrukce a doby zátoku, jež byla stanovena na dobu 24 hodin. Návrhový tepelný výkon objektu je 17 kW.

V následujících dvou kapitolách byla vypočtena potřeba tepla na vytápění a ohřev teplé vody pro provoz bez temperování a s temperováním a předpokládaným využíváním objektu víkendově, každý druhý víkend nebo jednou měsíčně. Potřeba tepla na vytápění se skládá z potřeby tepla na pokrytí tepelných ztrát a na ohřev konstrukce. Vnitřní teplota vytápěných místností při temperování byla navržena na 5 °C. Průměrná doba otopného období a průměrná venkovní teplota jsou dány normou. Provoz je navržen tak, že v pátek ráno zapne uživatel dálkově vytápění a odpoledne přijede do téměř vytopeného objektu a bude zde pobývat až do nedělního odpoledne.

Následně byl proveden rozbor jednotlivých zdrojů tepla a posouzena jejich vhodnost k použití na vytápění rekreačního domku. Pro provoz bez temperování lze použít především elektrokotle, plynové kotle a elektrické přímotopy a pro provoz s temperováním elektrokotle, plynové kotle a kombinaci elektrokotle spolu s tepelným čerpadlem vzduch/voda. Zdroj tepla bude sloužit i k ohřevu teplé vody v zásobníku. V případě vytápění elektrickými přímotopy bude použit přímotopný zásobník teplé vody.

Poté byl proveden ekonomický rozbor jednotlivých variant. Investiční náklady jsou nejnižší u elektrických přímotopů, protože nepotřebují k vytápění potrubní síť a přenos tepla je zprostředkován přímo zdrojem tepla, čímž odpadnou náklady na pořízení otopných těles. Při použití teplovodní otopné soustavy jsou nejnižší investiční náklady na pořízení elektrokotle. Nejvyšší jsou naopak při variantě vytápění elektrokotlem v kombinaci s tepelným čerpadlem, především kvůli vysoké pořizovací ceně tepelného čerpadla a ceně za jeho montáž. Provozní náklady jsou nejnižší při provozu plynového kotle především kvůli vyšším cenám za elektřinu.

Z ekonomického rozboru jednotlivých variant vychází nejvhodněji vytápění plynovým kotlem. Do dvou let používání vyjde lépe, než elektrokotel při všech provozech, a do sedmi let než elektrické přímotopy při provozu jednou za měsíc (u ostatních provozů dříve), především kvůli nižším cenám za provoz. Elektrokotel v kombinaci s tepelným čerpadlem se nevyplatí zejména vzhledem k vysokým investičním nákladům a malému využívání tepelného čerpadla. Tato varianta by byla vhodnější při temperování na vyšší teploty, kde by se provozní náklady ostatních zdrojů tepla výrazně zvýšily.

10. Seznam použitých zdrojů

- [1] ČSN EN 12831: *Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [2] EN 12831: *Energy performance of buildings - Method for calculation of the design heat load*. Brusel: CEN - CENELEC Management Centre, 2017
- [3] Hodnoty fyzikálních veličin vybraných stavebních materiálů. *tzb-info.cz* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/58-hodnoty-fyzikalnich-velicin-vybranych-stavebnich-materialu>
- [4] Katalog stavebních materiálů. *tzb-info.cz* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: https://stavba.tzb-info.cz/docu/tabulky/0000/000086_katalog.html
- [5] Minerální izolace. *tzb-info.cz* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/298-mineralni-izolace>
- [6] Teplo od podlahy. *obklady.cz* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://www.obklady.cz/top10/1-KOUPELNY/86-Teplo-od-podlahy>
- [7] Výroba oken a dveří. *vekra.cz* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.vekra.cz>
- [8] Špaletová okna a kastlová okna. *oknasirer.cz* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.oknasirer.cz/48736/spaletova-okna/>
- [9] INCROPERA, F. P., DE WITT, D. P. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 3rd Ed. New York: Wiley, 1990. ISBN 0-471-51729-1
- [10] Katedra technických zařízení budov 11125. *cvut.cz* [online]. Praha [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/?mod=podklady&id=1>
- [11] Tepelná bilance. *tzb-info.cz* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: https://vytapani.tzb-info.cz/docu/tabulky/0000/000047_vythelp.html#_eps
- [12] Metody návrhu zásobníku teplé vody. *tzb-info.cz* [online]. 2011 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/7885-metody-navrhu-zasobniku-teple-vody?fbclid=IwAR2uS9CcZUztWma-9F46bjsKhu2rtljAmnOrCNm2795l9sx6YLGHTisAVgw>
- [13] Ohřev vody. *premereni.cz* [online]. Praha, 2013 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.premereni.cz/Files/dulezite-informace/ke-stazeni/tiskoviny-ke-stazeni/ohrev-vody-rady-tipy-informace>
- [14] VELIS EVO. *ariston.com* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.ariston.com/cz/velis-evo>
- [15] Ohřívač vody Elíz EL 41. *nakupka.cz* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.nakupka.cz/vyrobek/ohrivac-vody-eliz-el-41-kohoutkovy/>
- [16] Temperování. *Viessmann.cz* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/temperovani.html>

- [17] Typy na vytápění chalup. *chatar-chalupar.cz* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.chatar-chalupar.cz/tipy-na-vytapeni-chalup/>
- [18] Počasí statistiky pro Žďár nad Sázavou, Česká republika. *meteobox.cz* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://meteobox.cz/zdar-nad-sazavou/statistiky/>
- [19] Co je to elektrokotel, jak funguje, výhody a nevýhody. *akoupelnyatopeni.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.akoupelnyatopeni.cz/clanky/co-je-to-elektrokotel-jak-funguje-vyhody-a-nevyhody>
- [20] Elektrokotel: Vyplatí se? A jak vybrat ten nejlepší? *drevostavitel.cz* [online]. 2018 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/elektrokotel>
- [21] Elektrický kotel ústředního vytápění. *sanimax.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: http://www.sanimax.cz/files/prod_files/1281432444epuv_r.pdf
- [22] 4 výhody tepelného čerpadla. *tenaur.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.tenaur.cz/vyhody-tepelneho-cerpadla/>
- [23] Tepelné čerpadlo: výhody a nevýhody. *estav.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/3537.tepelne-cerpadlo-vyhody-a-nevyhody>
- [24] Vybíráme tepelné čerpadlo: Jaká kritéria sledovat? *tzb-info.cz* [online]. 2011 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/7216-vybirame-tepelne-cerpadlo-jaka-kriteria-sledovat>
- [25] F2120. *nibe.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.nibe.cz/cs/tepelna-cerpadla-vzduch-voda/tepelne-cerpadlo-nibe-f2120>
- [26] Co je dobré vědět, než si koupíte plynový kotel. *tzb-info.cz* [online]. ENBRA, 2015 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/13109-co-je-dobre-vedet-nez-si-koupite-plynovy-kotel>
- [27] 5 výhod kondenzačních kotlů. *tzb-info.cz* [online]. A koupelny a topeni, 2018 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/123799-5-vyhod-kondenzacnich-plynovych-kotlu>
- [28] Jaké výhody má kondenzační plynový kotel? *eon.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/uspora-energie/jak-na-usporne-vytapani/jake-vyhody-ma-kondenzacni-plynovy-kotel>
- [29] Plynové kotle. *viadrus.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.viadrus.cz/plynove-kotle-26.html>
- [30] Euroterm nitromiX P24 závěsný kondenzační plynový kotel. *kotly.com.pl* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://kotly.com.pl/produkt-euroterm-nitromix-p24-zavesny-kondenzacni-plynovy-kotel-5245.html?l=cz>
- [31] Výhody automatických kotlů na tuhá paliva. *tzb-info.cz* [online]. 2018 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/124144-vyhody-automatickych-kotlu-na-tuha-paliva>

- [32] Jaké jsou výhody kotle na tuhá paliva? *eon.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/uspورا-energie/jak-na-usporne-vytapeni/jake-jsou-vyhody-kotle-na-tuha-paliva>
- [33] Kotle na tuhá paliva. *viadrus.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.viadrus.cz/kotle-na-tuha-paliva-25.html>
- [34] Automatické kotle na tuhá paliva. *viadrus.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.viadrus.cz/automaticke-kotle-29.html>
- [35] Automatický kotel VERNER A602. *ponast.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://www.ponast.cz/produkt/automaticke-kotle/a302-a602/automaticky-kotel-verner-a602/katalog-c-HVKKL6020>
- [36] Kdy se elektrické přímotopy vyplatí? *drevostaviotel.cz* [online]. 2018 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/kdy-se-vyplati-elektricke-primotopy-1dil>
- [37] Přenosné přímotopy. *topeni-topenari.eu* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/otopna-telesa/primotopy/prenosne.php>
- [38] Elektrický přímotop nebo sálavý topný panel? *primotopy.eu* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.primotopy.eu/primotop-nebo-topny-panel-a97>
- [39] NETIO 4All. *netio-products.com* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.netio-products.com/cs/zarizeni/netio-4all>
- [40] Termostatické WiFi řízení teploty elektrického přímotopu přes telefon. *zabezpecovaci-zarizeni.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.zabezpecovaci-zarizeni.cz/pokojove-ovladaci-termostaty/gsm-wifi-termostaty-regulace-topeni/termostaticke-wifi-rizeni-teploty-elektrickeho-primotopu-pres-telefon-%5Bw3410%5D#view1>
- [41] Nástěnné sálavé elektrické přímotopy ECOFLEX. *elny.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.elny.cz/ecoflex-salave/c-3135/>
- [42] Volba teplotního spádu. *tzb-info.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/525-volba-teplotniho-spadu>
- [43] Elektrokotle. *topenilevne.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/elektrokotle-c69/?af=MTA2KDE1IC0gMjAqKQ>
- [44] Vaillant VE 18 eloBLOCK. *heureka.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://kotle.heureka.cz/vaillant-ve-18-eloblock/>
- [45] Závěsný elektrokotel eloBLOCK. *vaillant.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.vaillant.cz/pro-zakazniky/produkty/zavesny-elektrokotel-eloblock-ve-6-ve-28-24129.html>
- [46] Kondenzační kotle. *topenilevne.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/kotle-kondenzacni-c266/?af=MTA2KDE1IC0gMjAqKQ>
- [47] Vaillant VU 206/5-5 ekoTEC plus. *heureka.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://kotle.heureka.cz/vaillant-vu-206-5-5-ecotec-plus/>

- [48] Závěsný kondenzační plynový kotel VU ecoTEC plus. *vaillant.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.vaillant.cz/pro-zakazniky/produkty/zavesny-kondenzacni-plynovy-kotel-vu-ecotec-plus-9472.html>
- [49] Ceník. *Nibe.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.nibe.cz/cs/cenik>
- [50] Tepelné čerpadlo vzduch/voda IVAR.HP ITEC INVERTER-TOTAL. *ivar.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.ivarcs.cz/katalog/tepelna-technika/tepelne-čerpadlo-vzduch-voda-ivar-hp-itec-inverter-total-p140829/>
- [51] Ceník produktů. *vaillant.cz* [online]. 2019 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: http://www.kto.cz/picture/pdf/cenik_vaillant.pdf
- [52] Tepelné čerpadlo areTHERM VWL. *vaillant.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.vaillant.cz/pro-zakazniky/produkty/tepelne-čerpadlo-arootherm-vwl-8832.html>
- [53] RADIK VK. *korado.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.korado.cz/produkty/radik/radik-vk.html>
- [54] Otopné plochy (IV – 1.část) - přepočet tepelného výkonu. *tzb-info.cz* [online]. 2006 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/otopne-plochy/3184-otopne-plochy-iv-1-cast-prepocet-tepelneho-vykonu>
- [55] Otopné plochy (IV - 2.část) - přepočet tepelného výkonu. *tzb-info.cz* [online]. 2006 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/otopne-plochy/3192-otopne-plochy-iv-2-cast-prepocet-tepelneho-vykonu>
- [56] RADIK Technický ceník. *korado.cz* [online]. 2018 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.korado.cz/common/downloads/cenik-deskova-otopna-telesa-radik-vcetne-prislusenstvi-1542955809.pdf>
- [57] TZB pro FBI 5.vytápění objektu. *fast.vsb.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/tzb-fbi/5.html>
- [58] Měděné trubky. *topenilevne.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/medene-trubky-c1336/>
- [59] CU tvarovky pájecí. *topenilevne.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/cu-tvarovky-pajeci-c1372/>
- [60] Kulové kohouty (ventily). *topenilevne.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/kulove-kohouty-c2035/>
- [61] Topenářské filtry pro topné systémy. *topenilevne.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/filtry-topenarske-c1370/>
- [62] WiFi řízení teploty elektro nebo plynového kotle. *zabezpecovaci-zarizeni.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.zabezpecovaci-zarizeni.cz/pokojove-ovladaci-termostaty/gsm-wifi-termostaty-regulace-topeni/wifi-rizeni-teploty-elektro-nebo-plynoveho-kotle-pres-telefon-%5Bw3412%5D#view1>

- [63] Nepřímotopný zásobník OKC NTR/Z. *dzd.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.dzd.cz/ohrivace-a-zasobniky-teple-vody/neprimotopne-zasobniky/zavesne/okc-ntr-z#technicke-parametry>
- [64] Dražice OKC 80 KTR/Z. *heureka.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://ohrivace-vody.heureka.cz/drazice-okc-80-ntr-z/>
- [65] Topenáři. *cenikyremesel.cz* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://www.cenikyremesel.cz/ceniky/topenari>
- [66] Tepelné čerpadlá - Orientačný cenník prác a materiálu. *eco3ekergy.sk* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: https://www.eco3energy.sk/sub/eco3energy.sk/images/cenniky/Cenn%C3%ADk_pr%C3%A1c_%28tepen%C3%A9_%C4%8Derpadl%C3%A1%29_2018.pdf
- [67] Sálavé konvektory ECOFLEX Fenix. *shopelektro.cz* [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.shopelektro.cz/elektricke-topeni/salave-a-primotopne-konvektory/salave-konvektory-ecoflex-r>
- [68] Ohřívač vody OKHE ONE. *dzd.cz* [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.dzd.cz/ohrivace-a-zasobniky-teple-vody/elektricke/zavesne/okhe-one#technicke-parametry>
- [69] Dražice OKHE ONE 80. *heureka.cz* [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://ohrivace-vody.heureka.cz/drazice-okhe-one-80/>
- [70] Ceník Variant 24 listopad 2018. *eon.cz* [online]. 2018 [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/-a164723---T2zlFq4a/cenik-variant-24-listopad-2018-distribucni-uzemi-e-on-d-distribuce-2019-pdf>
- [71] Ceník Variant 24 září 2018. *eon.cz* [online]. 2018 [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/-a164889---Mad5nccn/cenik-variant-24-zari-2018-distribucni-uzemi-gasnet-pdf>

11. Seznam použitých symbolů a zkratek

Zkratka	Popis
ČR	Česká republika
el.	elektrický
OT	otopné těleso
PVC	polyvinylchlorid
š.	šířka
tl.	tloušťka
TV	teplá voda

Zkratka	Jednotka	Popis
a	$[m^2 \cdot s^{-1}]$	teplotní vodivost
A_i	$[m^2]$	plocha místnosti
A_k	$[m^2]$	plocha k -té stavební části
Bi	$[-]$	Biotovo číslo
c	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	měrná tepelná kapacita
c_j	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	měrná tepelná kapacita j -té vrstvy
$c_{el,c}$	$[Kč/MWh]$	celková cena elektřiny
$c_{el,m}$	$[Kč/měsíc]$	měsíční platby
$c_{el,p}$	$[Kč/měsíc]$	cena za podporu elektřiny z podporovatelných zdrojů
c_k	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	měrná tepelná kapacita stěny k -té konstrukce
COP	$[-]$	topný faktor
$c_{pl,c}$	$[Kč/MWh]$	celková cena zemního plynu
$c_{pl,m}$	$[Kč/měsíc]$	celkový stálý plat za měsíc
c_v	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	měrná tepelná kapacita vody při střední teplotě zásobníku
d	$[-]$	počet dnů otopného období
d_{in}	$[mm]$	vnitřní průměr potrubí
d_j	$[m]$	tloušťka j -té vrstvy materiálu
d_k	$[m]$	tloušťka stěny k -té konstrukce
E	$[-]$	počet stěn sousedících s venkovním prostředím
f_k	$[-]$	teplotní korekční činitel k -té stavební části
f_o	$[-]$	opravný součinitel na úpravu okolí
f_p	$[-]$	opravný součinitel na umístění tělesa v prostoru
f_x	$[-]$	opravný součinitel na připojení tělesa
Fo	$[-]$	Fourierovo číslo

$f_{\Delta\theta,i}$	[-]	teplotní korekční činitel zohledňující dodatečné tepelné ztráty místností při vytápění na vyšší teplotu, než mají sousední místnosti
h	[hod]	doba vytápění při jedné návštěvě
h_p	[hod]	doba pobytu při jedné návštěvě
I_i	[-]	počet stěn sousedících s vytápěnou místností
L_c	[m]	charakteristický rozměr
m_j	[kg]	hmotnost j -té vrstvy
M_m	[-]	počet dní v m -tém měsíci
n	[-]	počet návštěv za jedno otopné období
n_1	[-]	počet uživatelů
N_{el}	[Kč]	roční náklady na vytápění a ohřev TV elektrokotlem
N_{ep}	[Kč]	roční náklady na vytápění elektrickými přímotopy
n_j	[-]	počet jídel
n_m	[-]	počet návštěv v m -tém měsíci
n_{min}	[h ⁻¹]	minimální intenzita výměny vzduchu
N_{pl}	[Kč]	roční náklady na vytápění a ohřev TV plynovým kotlem
n_u	[-]	počet (výměra) ploch
N_{te}	[Kč]	roční náklady na vytápění a ohřev TV elektrokotlem v kombinaci s tepelným čerpadlem
Q_{2p}	[J]	celková potřeba ohříváče TV za jednu periodu
Q_a	[J]	celková potřeba tepla k jednomo ohřátí stěn
Q_{a1}	[J]	celková potřeba tepla na ohřátí stěn za jedno otopné období
$Q_{ak,i}$	[J]	potřeba tepla na ohřátí stěn v i -té vytápěné místnosti
$Q_{ak,j}$	[J]	potřeba tepla na ohřátí v j -té vytápěné konstrukce
$Q_{ak,k}$	[J]	potřeba tepla na ohřátí v k -té konstrukce
\dot{Q}_{ep}	[W]	výkon elektrického přímotopu
\dot{q}_k	[W·m ⁻²]	měrný tepelný tok ohřátou stěnou k -té konstrukce
Q_p	[J]	potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát v otopném období
Q_r	[J]	roční potřeba tepla
Q_{rtp}	[J]	roční potřeba tepla na temperování tepelným čerpadlem
Q_{rvyte}	[J]	roční potřeba tepla na vytápění elektrokotlem

$\dot{q}_{s,k}$	$[W \cdot m^{-2}]$	měrný tepelný tok studenou stěnou k -té konstrukce
$Q_{t,p}$	$[J]$	celková potřeba tepla na pokrytí ztrát prostupem při temperování
\dot{Q}_t	$[W]$	výkon otopného tělesa pro návrhové podmínky
$\dot{Q}_{t,skut}$	$[W]$	skutečný výkon otopného tělesa
Q_{TV}	$[J]$	celková potřeba tepla na ohřátí TV
\dot{Q}_u	$[W]$	výkon úseku
Q_{vyt}	$[J]$	celková potřeba tepla na vytápění
R_{ij}	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	tepelný odpor mezi vnitřním prostředím a místem, ke kterému je vztažena teplota T_j
R_j	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	tepelný odpor j -té vrstvy materiálu
R_{se}	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce
R_{si}	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce
S	$[m^2]$	celková plocha
S_k	$[m^2]$	plocha stěny k -té konstrukce
$S_{out,i}$	$[m^2]$	plocha stěn, které spojují místnost s venkovním prostředím
$T_{0,k}$	$[^{\circ}C]$	teplota na vnitřním povrchu stěny k -té konstrukce v době útlumu
t_1	$[^{\circ}C]$	teplota studené vody
$T_{1,k}$	$[^{\circ}C]$	teplota na vnitřním povrchu ohřáté stěny k -té konstrukce
t_2	$[^{\circ}C]$	teplota teplé vody
T_j	$[^{\circ}C]$	teplota na jednom povrchu ohřáté j -té vrstvy materiálu stěny
T_{j+1}	$[^{\circ}C]$	teplota na opačném povrchu ohřáté j -té vrstvy materiálu stěny
$T_{m,j}$	$[^{\circ}C]$	střední teplota ohřáté j -té vrstvy materiálu stěny
$T_{ms,j}$	$[^{\circ}C]$	střední teplota studené j -té vrstvy materiálu stěny
$T_{ms,j}$	$[^{\circ}C]$	střední teplota studené j -té vrstvy materiálu stěny
$T_{s,j}$	$[^{\circ}C]$	teplota na povrchu studené j -té vrstvy materiálu stěny
$T_{s,j+1}$	$[^{\circ}C]$	teplota na povrchu z druhé strany studené j -té vrstvy materiálu stěny
T_{temp}	$[^{\circ}C]$	teplota temperování
U	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel prostupu tepla
U_k	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel prostupu tepla k -té konstrukce

V_{2p}	$[m^3 \cdot per^{-1}]$	celková potřeba teplé vody za jednu periodu
V_d	$[m^3]$	objem jedné dávky
V_{da}	$[m^3]$	objem a -té dávky
V_i	$[m^3]$	objem místnosti
V_j	$[m^3]$	objem j -té vrstvy stěny
$\dot{V}_{min,i}$	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	nejmenší množství vzduchu požadované z hygienických důvodů
V_n	$[m^3 \cdot per^{-1}]$	potřeba teplé vody na mytí nádobí
V_o	$[m^3 \cdot per^{-1}]$	potřeba teplé vody pro mytí osob
V_u	$[m^3 \cdot per^{-1}]$	potřeba teplé vody pro úklid a mytí podlah
w	$[m \cdot s^{-1}]$	rychlost proudění
z	$[-]$	poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci
α_{se}	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce
$\Delta T_{ak,j}$	$[^{\circ}C]$	teplotní rozdíl j -té vrstvy stěny
ΔT_T	$[^{\circ}C]$	rozdíl v teplotách tepelného spádu
ε	$[-]$	opravný součinitel
η_{el}	$[-]$	účinnost elektrokotle
η_{ep}	$[-]$	účinnost elektrokotle
η_o	$[-]$	účinnost obsluhy
η_{pl}	$[-]$	účinnost plynového kotle
η_r	$[-]$	účinnost rozvodů
θ^*	$[-]$	bezrozměrná teplota
θ_e	$[^{\circ}C]$	výpočtová venkovní teplota
$\theta_{h,ie}$	$[^{\circ}C]$	teplota nevytápěné místnosti po ohřátí stěn
θ_{ie}	$[^{\circ}C]$	teplota nevytápěných místností
$\theta_{int,i}$	$[^{\circ}C]$	vnitřní výpočtová teplota
$\theta_{m,e}$	$[^{\circ}C]$	průměrná venkovní teplota v otopném období
θ_{np}	$[^{\circ}C]$	průměrná denní teplota
θ_{out}	$[^{\circ}C]$	teplota na venkovní stěně
$\theta_{s,e}$	$[^{\circ}C]$	teplota na venkovní straně v době útlumu
$\theta_{s,i}$	$[^{\circ}C]$	vnitřní teplota i -té vytápěné místnosti v době útlumu
λ_j	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	součinitel tepelné vodivosti j -té vrstvy materiálu
λ_k	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	součinitel tepelné vodivosti stěny k -té konstrukce
ρ	$[kg \cdot m^{-3}]$	hustota
ρ_j	$[kg \cdot m^{-3}]$	hustota j -té vrstvy stěny
ρ_k	$[kg \cdot m^{-3}]$	hustota stěny k -té konstrukce
ρ_v	$[kg \cdot m^{-3}]$	hustota vody při střední teplotě zásobníku
τ	$[s]$	dobu vytápění za jedno otopné období

$\tau_{chl,m}$	[s]	doba jednoho zchladnutí objektu v m -tém měsíci
$\tau_{chl,m,i}$	[s]	doba zchladnutí i -té vytápěné místnosti v m -tém měsíci
τ_p	[s]	doba pobytu za jedno otopné období
τ_{RH}	[s]	doba ohřevu stěny
$\tau_{temp,m}$	[s]	doba temperování v m -tém měsíci
$\tau_{út}$	[s]	doba útlumu
$\Phi_{HL,i}$	[W]	celkový tepelný výkon i -té vytápěné místnosti
Φ_i	[W]	návrhová tepelná ztráta i -té vytápěné místnosti
$\Phi_{RH,i}$	[W]	zátopový tepelný výkon i -té vytápěné místnosti
$\Phi_{T,i}$	[W]	návrhová tepelná ztráta prostupem i -té vytápěné místnosti
$\Phi_{T,m}$	[W]	průměrná tepelná ztráta prostupem v m -tém měsíci
$\Phi_{V,i}$	[W]	návrhová tepelná ztráta větráním i -té vytápěné místnosti

12. Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1 Mapa oblasti	12
Obr. 2 Vnější pohled	12
Obr. 3 Půdorys suterénu	13
Obr. 4 Půdorys přízemí	14
Obr. 5 Skladba vnějších stěn z pálených cihel	15
Obr. 6 Půdorys podkroví	15
Obr. 7 Rozložení teplot v ohřáté konstrukci stěny s n vrstvami	23
Obr. 8 Rozložení teplot u studené konstrukce stěny s n vrstvami.....	24
Obr. 9 Určení bezrozměrné teploty z Heislerova diagramu	29
Obr. 10 Rozložení teplot a skladba vnější stěny (č. k. 3.1)	31
Obr. 11 Tepelný tok pórobetonovou vnitřní stěnou (č. k. 5) z koupelny a WC do zádveří	47
Obr. 12 Zásobníkový ohřívač TV od firmy Ariston.....	51
Obr. 13 Průtokový ohřívač TV od firmy Elíz	51
Obr. 14 Stanovení Fourierova čísla v Heislerově diagramu	59
Obr. 15 Konstrukce elektrokotle	68
Obr. 16 Tepelné čerpadlo vzduch-voda a vnitřní systémová jednotka od firmy Nibe.....	69
Obr. 17 Plynový kondenzační kotel závěsný od firmy Euroterm	70
Obr. 18 Automatický kotel od firmy Verner.....	71
Obr. 19 Elektrický sálavý přímotop od firmy Fenix	71
Obr. 20 Vaillant eloBlock VE 18 [45]	73
Obr. 21 Vaillant VU 206/5-5 ecoTEC plus	73
Obr. 22 Tepelné čerpadlo vzduch-voda Vaillant aroTHERM	74
Obr. 23 Opravný součinitel na připojení tělesa.....	75
Obr. 24 Opravný součinitel na umístění tělesa v prostoru	76
Obr. 25 Schéma otopné soustavy s označením jednotlivých úseků	77
Obr. 26 Vývoj celkových nákladů vytápění různými zdroji tepla při víkendovém provozu I.	88
Obr. 27 Vývoj celkových nákladů vytápění různými zdroji tepla při provozu každý druhý víkend I.	88
Obr. 28 Vývoj celkových nákladů vytápění různými zdroji tepla při provozu jednou za měsíc I.	89
Obr. 29 Vývoj celkových nákladů vytápění různými zdroji tepla při víkendovém provozu II.	90
Obr. 30 Vývoj celkových nákladů vytápění různými zdroji tepla při provozu každý druhý víkend II.	91
Obr. 31 Vývoj celkových nákladů vytápění různými zdroji tepla při provozu jednou za měsíc II.	92

Seznam tabulek

Tab. 1 Přehled místností v suterénu	13
Tab. 2 Přehled místností v přízemí.....	14
Tab. 3 Přehled místností podkroví	15
Tab. 4 Všeobecné údaje	16
Tab. 5 Tepelný odpor při přestupu tepla mezi vzduchem a stavební částí.....	17
Tab. 6 Údaje o materiálech	18
Tab. 7 Hodnoty součinitelů prostupu tepla oken a dveří.....	18
Tab. 8 Příklad výpočtu součinitele prostupu tepla	18
Tab. 9 Výpočet tepelných ztrát prostupem a větráním v místnosti koupelna a WC (č. m. 103)	20
Tab. 10 Návrhové tepelné ztráty jednotlivých místností.....	21
Tab. 11 Výpočet teploty na vnitřním povrchu vnější stěny 1 (č. k. 3.1) v době útlumu v koupelně a WC (č. m. 103)	29
Tab. 12 Teploty na vnitřních površích a plochy konstrukcí stěn v koupelně a WC (č. m. 103)	30
Tab. 13 Přehled teplot ve vytápěných místnostech v době útlumu	31
Tab. 14 Základní údaje pro vnější stěnu 1 (č. k. 3.1)	31
Tab. 15 Výpočet potřeby tepla na ohřátí vnější stěny 1 (č. k. 3.1).....	33
Tab. 16 Potřeby tepla na ohřátí stěn v koupelně a WC (č. m. 103)	34
Tab. 17 Zátopové výkony jednotlivých místností	35
Tab. 18 Návrhový tepelný výkon místností	36
Tab. 19 Výpočet průměrné tepelné ztráty prostupem pro koupelnu a WC (č. m. 103)	39
Tab. 20 Výpočet průměrné tepelné ztráty větráním pro koupelnu a WC (č. m. 103).....	39
Tab. 21 Průměrné tepelné ztráty prostupem a větráním ve vytápěných místnostech	40
Tab. 22 Teploty v nevytápěných místnostech po ohřátí stěn	42
Tab. 23 Výpočet průměrné teploty na vnitřním povrchu vnější stěny (č. k. 1).....	42
Tab. 24 Průměrné teploty na površích a plochy konstrukcí stěn v koupelně a WC (č. m. 103)	43
Tab. 25 Přehled průměrných teplot ve vytápěných místnostech v době útlumu.....	43
Tab. 26 Výpočet potřeby tepla na ohřátí stěny mezi koupelnou a WC (č. m. 103) a zádveřím (č. m. 102)	44
Tab. 27 Výpočet potřeby tepla na ohřátí stěny (č. k. 5) mezi koupelnou a WC (č. m. 103) a zádveřím (č. m. 102)	48
Tab. 28 Potřeba tepla na vytápění	50
Tab. 29 Potřeba TV o teplotě 55 °C [12]	53
Tab. 30 Roční potřeba tepla při provozu bez temperování	55
Tab. 31 Průměrné teploty pro Žďár nad Sázavou [18].....	58
Tab. 32 Doby zchladnutí stěn na teplotu temperování v koupelně a WC (č. m. 103) v listopadu	59
Tab. 33 Doby zchladnutí ve vytápěných místnostech	60
Tab. 34 Doby temperování v jednotlivých měsících při jednotlivých typech provozu	61

Tab. 35 Tepelné ztráty prostupem při temperování v koupelně a WC (č. m. 103) v listopadu	62
Tab. 36 Tepelné ztráty prostupem v listopadu	62
Tab. 37 Průměrné tepelné ztráty v měsících, ve kterých se temperuje	62
Tab. 38 Potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát při temperování při různých typech provozu.....	63
Tab. 39 Teplota v nevytápěných místnostech v době útlumu s temperováním	64
Tab. 40 Výpočet potřeby tepla na ohřátí stěny mezi koupelnou a WC (č. m. 103) a zádveřím (č. m. 102)	64
Tab. 41 Potřeba tepla na vytápění při provozu s temperováním	66
Tab. 42 Potřeba tepla při provozu s temperováním	67
Tab. 43 Tepelná ztráta prostupem pro temperování.....	74
Tab. 44 Otopná tělesa.....	77
Tab. 45 Vnitřní průměry potrubí jednotlivých úseků.....	78
Tab. 46 Odhad nákladů na potrubí	79
Tab. 47 Investiční náklady na topení elektrokotlem	80
Tab. 48 Investiční náklady na topení plynovým kotlem	80
Tab. 49 Investiční náklady na topení elektrokotlem v kombinaci s tepelným čerpadlem	81
Tab. 50 Elektrické sálavé přímotopy	81
Tab. 51 Investiční náklady elektrických přímotopů.....	82
Tab. 52 Roční náklady na vytápění a ohřev TV elektrokotlem.....	83
Tab. 53 Celková cena a celkový stálý plat za zemní plyn.....	84
Tab. 54 Roční náklady na vytápění a ohřev TV plynovým kotlem	84
Tab. 55 Náklady na vytápění a ohřev TV elektrokotlem s temperováním tepelným čerpadlem.....	86
Tab. 56 Roční náklady na vytápění elektrickými přímotopy při provozu bez temperování	87
Tab. 57 Celkové náklady na vytápění a ohřev TV při víkendovém provozu I.	87
Tab. 58 Celkové náklady na vytápění a ohřev TV při provozu každý druhý víkend I.	88
Tab. 59 Celkové náklady na vytápění a ohřev TV při provozu jednou za měsíc I.	89
Tab. 60 Celkové náklady na vytápění a ohřev TV při víkendovém provozu II.	90
Tab. 61 Celkové náklady na vytápění a ohřev TV při provozu každý druhý víkend II.	90
Tab. 62 Celkové náklady na vytápění a ohřev TV při provozu jednou za měsíc II.	91

13. Seznam příloh

Stavební výkres, suterén
Stavební výkres, přízemí
Stavební výkres, podkroví

Seznam příloh v přiloženém CD

Doba temperování
Náklady
Potřeba tepla na ohřev stěn ostatní
Potřeba tepla na ohřev stěn temperování ostatní
Potřeba tepla na ohřev stěn víkendový
Potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát
Tepelné ztráty
Výkon tepelného čerpadla
Zátopový výkon